



LEOPOLDO FERREIRA DE OLIVEIRA BERNARDI

**CONSERVAÇÃO E MANEJO DA DIVERSIDADE
DE INVERTEBRADOS EM CAVIDADES
ARTIFICIAIS**

LAVRAS – MG

2011

LEOPOLDO FERREIRA DE OLIVEIRA BERNARDI

**CONSERVAÇÃO E MANEJO DA DIVERSIDADE DE
INVERTEBRADOS EM CAVIDADES ARTIFICIAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre

Orientador

Dr. Rodrigo Lopes Ferreira

LAVRAS – MG

2011

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Bernardi, Leopoldo Ferreira de Oliveira.

Conservação e manejo da diversidade de invertebrados em
cavidades artificiais / Leopoldo Ferreira de Oliveira Bernardi. – Lavras:
UFLA, 2011.

151 p.: il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Rodrigo Lopes Ferreira.

Bibliografia.

1. Cavernas. 2. Turismo. 3. Comunidades. 4. Minas Gerais. 5.
Galerias subterrâneas. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 574.5264

Aos meus pais, Simone e Bernardo, que por meio de muito trabalho, coragem, vontade de reconstruir a vida e amor, foram os maiores responsáveis por me impulsionar até este momento.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Setor de Ecologia, pela oportunidade concedida para a realização do mestrado.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão do apoio financeiro imprescindível para a realização deste projeto (Edital Universal – APQ CRA 4189 5 03-07)

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos.

Aos colegas da acarologia, Fábio Hernades, Jeferson Mineiro, Michel Valim, Felipe Dantas-Torres, Marcelo Labruna, Almir Pepato, Patrícia, Marsal, Erika, Melissa, Alex e, principalmente, ao professor Paulo Rebelles (EPAMIG) e ao grande colega de longas conversas, Maurício Sergio Zacarias (EMBRAPA). Obrigado pelo auxílio e por me encorajar com o trabalho com os pequeninos seres dessas imensidões escuras.

Aos colegas de laboratório, que todos os dias me ensinam e me ajudam a realizar cada um dos meus sonhos científicos. A presença de cada um de vocês fez com que cada linha deste trabalho tenha sido construída de maneira mais fácil e mais divertida, Ludson, Marcela, Dani, Maysa e Robson. Em especial às grande amigas durante longos momentos de desespero e de alegria, Thaís (Sassanha) e Erika (Teta) (marida temporária e sempre companheira).

Aos amigos que não deixaram de me apoiar em cada passo dentro e fora da universidade, Antônio Mauro, Cotonete, Nesca e Renata. Aos colegas de mestrado e a outros tantos companheiros e colegas caverneiros que me acompanharam nessas grandes andanças pelo Brasil subterrâneo.

A minha grande companheira, Lívia, pela sua paciente leitura de parte deste trabalho, pelas inúmeras horas de discussões estatísticas, pelo grande carinho e pelo grande amor... Muito obrigado, pelo apoio e por me ajudar a

compreender um pouco melhor sobre como aproveitar os bons momentos da vida.

Aos meus familiares, primos, tias, avós, principalmente as minhas duas irmãs gordinhas e pentelhas que eu amo tanto, Marília e Henriqueta. Agradeço a minha mãe de criação, Maria Aparecida (Tiquinha), pelo carinho que me foi dado durante vários anos de minha vida.

Ao pessoal da Pós-Graduação em Ecologia Aplicada da Universidade Federal de Lavras, principalmente aos professores pelos ensinamentos.

Aos especialistas, pelo auxílio na identificação de inúmeros espécimes, Antônio Brescovit (Aranae), João Paulo (Diplopodas), Adriano Kury (Opiliones) e Marcelo Ribeiro (Orthoptera), que auxiliaram nas identificações de invertebrados.

Ao pessoal de cada um dos municípios que, mesmo não conhecendo o trabalho e as pessoas envolvidas, sempre nos recebeu e auxiliou a encontrar os caminhos que nos levaram às cavidades subterrâneas artificiais: Cibele e Val (Padre Paraíso), Valdivino (Padre Paraíso), Lu e esposa (São José do Safira), o pai do Ronan (São José do Safira), Rarley (Alagoa), a mãe do Lelê (Medina), os pais do Rodrigo e a D. Aparecida (Mateus Leme), o Barbacena (Ouro Preto), Cristian e a VMetais. Ao Mario (Maiota), ao Marlus, ao Gustavo (Guga) e seus familiares, por ter nos acolhido em suas casas. É difícil lembrar-se de cada nome, mas sem eles o trabalho não teria sido viável.

À memória de meu tio José Alexandre que, apesar de seus atos, me mostrou ideias que me deram uma grande vontade de conhecer a imensidão da vida.

Em especial aos meus orientadores e amigos Rodrigo e Marconi. A vida não é para ser facilmente percorrida; os caminhos são sinuosos, complicados e, muitas vezes, fazem com que nós tenhamos de sair dos planos já traçados. Todas as dúvidas podem ser uma forma de amadurecimento. Agradeço imensamente

toda oportunidade que me foi oferecida. Espero, um dia, poder retribuir cada passo que vocês me ajudaram a percorrer.

Todo esse trabalho não teria sido possível sem o auxílio de três pessoas que, no decorrer do mestrado, se tornaram grandes amigos. Obrigado pela paciência, por aguentar meus roncões, pelo estômago por aturar dias de patês, pela coragem de encarar aqueles buracos desabantes, pela força de vontade em atingir as metas e, por fim, pelo grande companheirismo em todos os felizes dias de coleta. São elas Marcus P. Oliveira (Grilão), Amanda M. Teixeira e Matheus Brajão (Teteuzinho) (Figura 1).



Figura 1 Marcus Paulo, Matheus, Leopoldo e Amanda (esquerda para a direita), em Medina, Minas Gerais

A todos os Deuses e forças incompreensíveis da natureza eu agradeço... ao sol, à chuva, à dúvida, à benção, às belas visões neste caminho iluminado que me foi mostrado.

“Mas na verdade somos cruzadores tímidos hoje em dia; inclusive os caminhantes, que não embarcam em missões intermináveis que exijam perseverança. Nossas expedições são pouco mais que passeios, e à noitinha acabamos voltando ao pé de nossa lareira, de onde partimos. Metade da caminhada nada mais é do que retornar pela mesma trilha. Mesmo nas mais curtas de nossas andanças, deveríamos avançar talvez no mais elevado espírito de aventura, dispostos a nunca mais retornar, decididos a enviar de volta nada mais do que nossos corações embalsamados – relíquias para o povo de nossos reinos desolados”.

Henry Thoreau, Caminhando, 1947

RESUMO

As cavidades artificiais, apesar de terem uma origem diferenciada (através de ação antrópica), também são ambientes subterrâneos e podem apresentar características ambientais semelhantes às cavernas. Dentre elas podem-se citar a ausência de luz, os valores de temperaturas mais estáveis que o ambiente externo, além de elevada umidade e a tendência ao oligotrofismo. No estado de Minas Gerais, a presença de cavidades artificiais é algo comum, devido à vocação minerária desta localidade que remonta ao século XVIII. Estas cavidades compreendem abrigos para alguns grupos de animais. Dessa forma, este trabalho foi realizado com o objetivo geral de avaliar o uso e a diversidade de invertebrados em cavidades artificiais, além de sugerir um modo de uso desses sistemas como elementos no planejamento de ações de manejo em cavidades naturais e/ou áreas de extração mineral e cavidades turísticas. Para o estudo foram avaliadas as características físicas, tróficas, biológicas e alterações antrópicas observadas nestas cavidades. Os invertebrados foram capturados manualmente, em 110 cavidades artificiais distribuídas em 12 municípios de Minas Gerais, por meio de busca ativa e plotagem em croquis. Parâmetros como riqueza, complexidade ecológica, dominância de espécies, diversidade e similaridade foram relacionados aos impactos presentes no meio epígeo e com características do meio hipógeo (e.g. extensão linear, porcentagem de zona fótica e distância geográfica). Foi também avaliado o efeito do turismo sobre os sistemas subterrâneos artificiais. Para isso foram realizados monitoramento e observação de parâmetros ambientais (temperatura e umidade) e biológicos (composição e estrutura das comunidades de invertebrados), antes e depois da realização de atividades antrópicas nos sistemas. Foi encontrado um total de 594 espécies de invertebrados. Dentre os impactos mais observados estão trilhas, desmatamento e atividade extrativista. A riqueza de espécie e a complexidade biológica são mais baixas em cavidades artificiais que naturais. Sistemas mais distantes apresentam maior diferença na composição de suas espécies. Em sistemas turísticos, os invertebrados tendem a se abrigar em zonas adjacentes àquelas utilizadas como rota turística. A presença de iluminação artificial e o movimento de pessoas no interior de cavidades artificiais alteram os valores de temperatura e umidade, além de alterar as vias de acesso de recurso disponível para a fauna de invertebrados hipógeos. Os sistemas subterrâneos artificiais são locais importantes para se estabelecer experimentos que possam melhorar as ações de manejo empregadas em cavernas. A grande diversidade de espécies encontradas nos sistemas subterrâneos artificiais, principalmente de invertebrados ombrófilos, demonstra o potencial desses habitats como locais que podem incrementar e manter a riqueza de espécies em locais onde a vegetação nativa foi removida.

Palavras-chave: Invertebrados. Turismo. Caverna. Meio subterrâneo.

ABSTRACT

Artificial cavities, despite of having a different genesis (by anthropic activities), are also hipogean environments and can present environmental characteristics similar to those found in caves such as absence of light, more stable temperature comparing to external ones, beyond high humidity and oligotrophic tendencies. In Minas Gerais state the presence of artificial cavities is common due to the mining activities developed since 18th century. These cavities represent shelters for some animal groups. Therefore this work aimed to evaluate their use and invertebrate diversity in artificial cavities, also suggesting a use of these systems as elements in the planning of management actions in natural cavities and/or mining extraction areas and touristic cavities. In this study physical, trophic and biological characteristics and anthropic changes observed in these cavities were evaluated. Invertebrates were collected manually, in 110 artificial cavities distributed in 12 municipalities of Minas Gerais by active search and sketch plotting. Parameters like richness, ecological complexity, species dominance, diversity and similarity were related to the present impacts at epigean environment and to characteristics of hipogean environment (e.g. linear extension, photic zone percentage and geographic distance). In order to evaluate tourism effects under artificial cavities, environmental (temperature and humidity) and biological parameters (composition and structure of invertebrate communities) were observed and monitored previously and posteriorly to anthropic activities in the systems. A total of 594 invertebrate species were found. Trails, deforestation and extractive activities were the most observed impacts. Species richness and biological complexity were lower in artificial cavities than in natural ones. Higher differences of species composition were observed in farther systems. In touristic systems invertebrates tend to search for shelter more in adjacent zones than in those used as touristic route. The presence of artificial lighting and people passing on artificial cavities change temperature and humidity, besides modifying available access to resources to the hypogean invertebrate fauna. Underground artificial systems are important sites for establishment of experiments that can improve management actions applied on caves. The great diversity of species found in underground artificial systems, mainly ombrophilous invertebrates, demonstrate the potential of these habitats as sites that can improve and maintain species richness in sites where natural vegetation was removed.

Keywords: Invertebrate. Tourism. Cave. Underground environment.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Histórico do uso de cavidades artificiais	16
2.2	Os ambientes subterrâneos: comparação entre cavidades naturais e artificiais	17
2.2.1	Cavidades naturais subterrâneas	17
2.2.2	Cavidades artificiais subterrâneas	21
3	OBJETIVOS	24
4	HIPÓTESES	26
	REFERÊNCIAS	27
	PRIMEIRA PARTE	32
	CONSERVAÇÃO E MANEJO DA DIVERSIDADE DE INVERTEBRADOS EM CAVIDADES ARTIFICIAIS	32
1	INTRODUÇÃO	33
2	MATERIAL E MÉTODOS	35
2.1	Área de estudo	35
2.2	Procedimentos para a coleta de invertebrados	37
2.3	Caracterização das comunidades de invertebrados presentes em cavidades subterrâneas artificiais	39
2.4	Caracterização ambiental do meio hipógeo e do meio epígeo ao seu entorno	40
2.5	Caracterização dos usos e alterações no ambiente epígeo e hipógeo	41
2.6	Análises dos dados	43
3	RESULTADOS	45
3.1	Características bióticas e abióticas do ambiente hipógeo	45
3.1.1	Variáveis abióticas do meio hipógeo das cavidades subterrâneas artificiais	45
3.1.2	Recursos alimentares observados no interior das cavidades subterrâneas artificiais	45
3.1.3	Comunidades de invertebrados em cavidades subterrâneas artificiais	48
3.2	Características bióticas e abióticas do ambiente hipógeo	56
3.2.1	Usos e impactos do meio hipógeo e do ambiente de entorno das cavidades subterrâneas artificiais	56
3.3	Relações entre os parâmetros bióticos e abióticos	59
4	DISCUSSÃO	62
4.1	Condições ambientais e recursos alimentares em cavidades artificiais	62

4.2	Estrutura das comunidades de invertebrados	64
4.3	Impactos de origem antrópica no meio hipógeo e no entorno das cavidades subterrâneas artificiais	67
4.4	Relações entre variáveis bióticas e abióticas	68
4.5	Utilização das cavidades subterrâneas artificiais em planos de manejo	70
5	CONCLUSÕES	73
	REFERÊNCIAS	74
	SEGUNDA PARTE.....	86
	ARTIGO 1 Efeitos do uso turístico sobre cavidades subterrâneas artificiais: subsídios para o uso antrópico de sistemas subterrâneos.....	86
	ARTIGO 2 Considerações sobre os efeitos do turismo no ecossistema da mina do Chico Rei (Ouro Preto, Minas Gerais): implicações para o manejo em sistemas naturais	123

1 INTRODUÇÃO

O primeiro trabalho referente à biologia subterrânea no Brasil foi publicado em 1907, consistindo na descrição de uma espécie troglóbia de bagre-cego (*Pimelodella kronei*), de Iporanga, SP (Ribeiro 1907). Somente a partir da publicação de Dessen et al. (1980) esta ciência passou a progredir de forma crescente no país. Desde esta publicação, diferentes áreas brasileiras vêm sendo exploradas, o que tem aumentado o conhecimento a respeito de quais espécies colonizam as cavernas.

Estados como Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia e Rio Grande do Norte já foram alvo de relevantes levantamentos bioespeleológicos (FERREIRA, 2004; FERREIRA et al., 2010; GINASPINI-NETO, 1991; PINTO-DA-ROCHA, 1995; SOUZA-SILVA, 2008; TRAJANO, 2000; TRAJANO; MOREIRA, 1991; ZAMPAULO, 2010; ZEPPELINI et al., 2003). Por outro lado, o conhecimento acerca de outros tipos de sistemas subterrâneos, tais como o meio subterrâneo superficial e as zonas intersticiais, sofreu pouco avanço, no país, nas últimas décadas. As cavidades subterrâneas artificiais, ou como são conhecidas popularmente túneis, minas e galerias, também fazem parte da diversidade de espaços pertencentes ao meio subterrâneo. Porém, até o momento, estes ambientes foram contemplados apenas por dois estudos no Brasil (FERREIRA, 2004; GNASPINI; TRAJANO, 1994;).

Sabendo da necessidade de entender melhor os ambientes subterrâneos presentes em nosso país, este estudo foi realizado com o objetivo geral de abordar diferentes aspectos das comunidades presentes em cavidades artificiais abandonadas e também naquelas onde se desenvolve o turismo.

No primeiro capítulo abordam-se a riqueza, a diversidade, a equitabilidade, a dominância, a complexidade biológica e a similaridade das comunidades de invertebrados em sistemas subterrâneos artificiais presentes no

estado de Minas Gerais. Variáveis das comunidades biológicas (e.g. riqueza, diversidade, complexidade biológica) foram correlacionadas com aspectos do ambiente físico (e.g. extensão total da cavidade e extensão da zona fótica dos sistemas). A similaridade de composição de espécies entre as cavidades presentes em divertes regiões e suas semelhanças com cavernas também foram abordadas no primeiro capítulo.

Todos estes aspectos foram levantados no intuito de se tentar compreender a estrutura das comunidades presentes nestes sistemas subterrâneos. Além disso, a partir das informações geradas neste estudo, objetivou-se determinar estratégias de manejo em locais sobre influência de impactos antrópicos e, principalmente, conhecer melhor a comunidade de invertebrados (e.g. riqueza, diversidade, complexidade biológica) do meio subterrâneo brasileiro.

A segunda parte da dissertação é composta por dois artigos que envolvem aspectos concernentes ao turismo em cavidades artificiais nos municípios de Ouro Preto e Mariana.

O primeiro artigo tem como foco as alterações observadas na comunidade de invertebrados da Mina do Chico Rei, em Ouro Preto. Foram abordados fatores como distribuição da fauna e variações em parâmetros abióticos (temperatura, umidade e níveis de ruído) do meio físico, durante e após a visita turística.

O segundo artigo foi desenvolvido em cavidades turísticas e outras onze cavidades artificiais abandonadas nos municípios de Ouro Preto e Mariana. Neste artigo são abordadas as variações de temperatura e umidade impostas pela instalação de iluminação incandescente nas cavidades turísticas. Além disso, foram comparadas as espécies presentes em comunidades associadas a sistemas subterrâneos turísticos e não turísticos.

O intuito geral da dissertação foi estudar a comunidade de invertebrados em cavidades subterrâneas artificiais, com o objetivo de fornecer dados que possam subsidiar futuras ações de manejo, tanto de sistemas subterrâneos naturais (cavernas) como em locais onde o meio epígeo esteja sujeito a impactos antrópicos que causem a perda da diversidade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Histórico do uso de cavidades artificiais

O estado de Minas Gerais apresenta grande vocação para a extração de minério, tendo grande representatividade no contexto nacional e mundial. Esta vocação foi descoberta no final do século XVII, por bandeirantes que encontraram uma quantidade abundante de minério, principalmente ouro, na região de Vila Rica, atual Ouro Preto. Posteriormente, essa localidade veio a ser povoada, devido ao interesse da coroa portuguesa na exploração das riquezas minerais ali presentes.

A atividade de mineração na região de Vila Rica teve início no começo do século XVIII, principalmente relacionada à exploração de ouro e diamantes. Naquela época, a atividade de exploração mineral não se restringiu somente à área de Vila Rica, tendo se expandido para outras localidades de Minas Gerais, como é o caso de Alagoa, região sul do estado (FAUSTO, 2003).

A extração do minério na região das minas se dava de duas formas. A primeira consistia na exploração do mineral localizado na superfície do solo (e.g. ouro de aluvião) e a segunda era realizada pela construção de galerias artificiais ou, como são popularmente conhecidas, minas (FAUSTO, 2003).

Várias galerias artificiais que eram utilizadas para a extração mineral, mesmo tendo cessadas estas atividades, ainda existem em muitas regiões do estado. Algumas delas, atualmente, são locais abertos à visitação turística de cunho histórico e de aventura, como é o caso das minas do Chico Rei, da Passagem e de Santa Rita, localizadas no município de Ouro Preto (CIDADES HISTÓRICAS, 2007).

Mesmo após o término do período conhecido como Ciclo do Ouro, no final do século XVIII, a atividade de extração mineral utilizando-se de minas

não cessou. Ainda na região de Ouro Preto, bem como no nordeste de Minas Gerais (e.g. regiões próximas a Governador Valadares e Teófilo Otoni), ainda podem ser encontradas minas em atividade, de onde se extraem, principalmente, pedras preciosas e semipreciosas.

2.2 Os ambientes subterrâneos: comparação entre cavidades naturais e artificiais

2.2.1 Cavidades naturais subterrâneas

As cavernas, na maioria das vezes, fazem parte de sistemas complexos denominados sistemas cársticos. Estes sistemas compreendem uma unidade funcional de um emaranhado de aquíferos numa bacia de drenagem associada a rochas carbonáticas. O carste é um sistema “aberto”, com zonas hídras de entrada e saída de água (GIBERT; DANIELPOL; STANFORD, 1994; JUBERTHIE; DECU, 1994).

As diferenças nas porosidades dos aquíferos são determinadas pela ação de fluxos de água e pelo tipo de rocha. A interação entre esses dois fatores produz componentes biológica e geologicamente ativos (cavernas). Além disso, variações temporais e espaciais, em uma organização cárstica hierárquica, determinam o funcionamento geológico e biológico de ambientes subterrâneos (e.g. dissolução e pluviosidade). Processos físico-químicos em sistemas cársticos determinam a especificidade da dissolução das rochas pela ação da água (GIBERT; DANIELPOL; STANFORD, 1994).

As cavernas, portanto, são partes ou subunidades desta ampla unidade que apresenta estruturas hidrológicas ativas, mesmo que temporariamente. Em áreas calcárias, uma matriz de espaços vazios controla a infiltração de água e os processos de armazenamento de materiais aluviais, contribuindo para o

transporte e o estoque de recursos no interior das cavernas (GIBERT; DANIELPOL; STANFORD, 1994).

O ambiente cavernícola é, geralmente, caracterizado como estável, pois a temperatura e a umidade se mantêm constantes ao longo do ano. De maneira geral, o ambiente físico das cavernas varia menos que o ambiente epígeo (externo) circundante (CULVER, 1982; HOWARTH, 1983; POULSON; WHITE, 1969).

A temperatura no interior das cavernas aproxima-se da média da temperatura externa anual. Em cavernas extensas, a temperatura e a umidade quase não variam em locais mais distantes da entrada (BARR; KUEHNE, 1971). Entretanto, cavernas pouco extensas apresentam oscilações mais evidentes, que são reflexos diretos das variações no ambiente epígeo. As cavernas são ainda caracterizadas pela elevada umidade que, muitas vezes, tende à saturação (FERREIRA, 2004).

A total ausência de luz em cavernas exclui a possibilidade de produtores fotossintetizantes. Entretanto, a base da produção primária em algumas poucas cavernas pode ser a quimioautotrofia, realizada principalmente por bactérias (SARBU; KANE; KINKLE, 1996). Entretanto, grande parte ou a quase totalidade da produção nos ecossistemas cavernícola é de origem secundária, baseada em cadeia de detritívoros atuando sobre recursos provenientes do meio externo.

A matéria orgânica penetra nas cavernas carreadas, contínua ou temporariamente, por agentes físicos e biológicos (CULVER, 1982; EDINGTON, 1984; FERREIRA; MARTINS, 1999; GNASPINI-NETO, 1989; HOWARTH, 1983). Dentre os agentes físicos que transportam matéria orgânica, destacam-se os rios, as enxurradas e outros cursos d'água que percolam o teto ou a parede, através de aberturas ou fraturas que eventualmente existam nas

cavernas (GIBERT; DANIELPOL; STANFORD, 1994; JUBERTHIE; DECU, 1994).

A veiculação biológica é feita, principalmente, por meio de animais que transitam nas cavernas (*e.g.* morcegos) ou, mesmo, pelos animais que lá entram casualmente, defecando ou transportando material. Fezes e carcaças de morcegos e de animais terrestres são importantes fontes de recursos alimentares para numerosas espécies de microrganismos e artrópodes, principalmente em cavernas permanentes secas (FERREIRA; MARTINS, 1998, 1999; GIBERT; DANIELPOL; STANFORD, 1994; GILLIESON, 1996; HOWARTH, 1983; JUBERTHIE; DECU, 1994; SOUZA-SILVA, 2003).

Raízes vegetais são também importantes recursos alimentares para os organismos que vivem em tubos de lavas vulcânicas, em cavernas calcárias superficiais no Havaí e em cavernas na Austrália e nas Ilhas Canárias (HOWARTH, 1983; JASINSKA; KNOTT; McCOMB, 1996; SOUZA-SILVA, 2003). Estes recursos alimentares alóctones mantêm populações de organismos de todos os níveis tróficos presentes em cavernas (FERREIRA; MARTINS 1999; TRAJANO, 2000; SOUZA-SILVA, 2003).

Segundo Holsinger e Culver (1988) (modificado do sistema Schinner-Racovitza), organismos cavernícolas podem ser classificados em três categorias: **trogloxenos**: organismos regularmente encontrados no ambiente subterrâneo, mas que dele saem para se alimentar. Ocorrem, em geral, nas porções das cavernas mais próximas à entrada, mas populações, eventualmente, podem ocorrer mais distantes. Muitos desses organismos são responsáveis pela importação de recursos alimentares provenientes do meio epígeo, sendo, muitas vezes, os principais responsáveis pelo fluxo energético em cavernas, especialmente nas que são permanentemente secas; **troglófilos**: organismos que completam seu ciclo de vida no meio hipógeo e/ou epígeo. No epígeo, tanto os troglóxenos quanto os troglófilos, geralmente, ocorrem em ambientes úmidos e

sombreados. Certas espécies podem, ainda, ser troglófilas sob certas circunstâncias e troglóxenas em outras (*e.g.* em cavernas que têm baixa disponibilidade de alimento); **troglóbios** restringem-se ao ambiente cavernícola e podem apresentar diversos tipos de especializações morfológicas, fisiológicas e no comportamento que, provavelmente, evoluíram em resposta às pressões seletivas presentes em cavernas e/ou à ausência de pressões seletivas típicas do meio epígeo. Frequentemente, nesses organismos, há redução das estruturas oculares, despigmentação e alongamento de apêndices sensoriais.

Cavernas são ambientes susceptíveis a impactos que podem causar facilmente o declínio de algumas populações ou, até mesmo, a extinção de espécies restritas ao ambiente hipógeo (ELLIOT, 2000). Dessa forma, pequenas alterações que ocorrem no meio epígeo circundante, ou diretamente no meio hipógeo, podem causar grandes impactos na comunidade biológica (FERREIRA; HORTA, 2001; ELLIOT, 2000).

No Brasil, uma das principais ameaças aos ambientes subterrâneos compreende a mineração, o desmatamento da vegetação do entorno e a presença de lixo no interior das cavidades. Muitas dessas alterações são responsáveis pela diminuição da diversidade e também por alterações no conjunto de espécies que compõem a comunidade cavernícola (FERREIRA, 2004; SOUZA-SILVA, 2008; ZAMPAULO, 2010).

O turismo também é uma ação antrópica recorrente no interior de ambientes subterrâneos brasileiros (LOBO, 2006a; SOUZA-SILVA, 2008). Em algumas cavidades, o ambiente subterrâneo recebe modificações que visam facilitar o acesso e ampliar a segurança do turista (CIGNA; BURRY, 2000; LOBO, 2006a). Tais modificações (*e.g.* instalação de luz elétrica, escadas e passarelas), em conjunto com a presença humana, podem atuar causando alterações em parâmetros abióticos (temperatura, umidade), na depredação do espaço físico e, até mesmo, alterações nas comunidades presentes nestes

sistemas (CIGNA; BURRY, 2000; EBERHARD, 2001; FERNÁNDEZ-CORTÉS et al., 2006; LINHUA; XIAONIMG; FUYUAM, 2000; PULIDO-BOSH et al., 1997;). Mesmo sabendo do potencial dos impactos causados pelo espeleoturismo no Brasil, poucos estudos tiveram como objetivo compreender ou propor ações capazes de reverter os impactos causados por ações desordenadas nos sistemas subterrâneos (BOGGIANI, 2007; FERREIRA, 2004; FERREIRA; BERNARDI; SOUZA-SILVA, 2009; LOBO, 2006a; LOBO, 2006b; LOBO, 2008, LOBO, PERINOTTO; BOGGIANI, 2009; VERÍSSIMO et. al., 2005).

2.2.2 Cavernas artificiais subterrâneas

Embora de origem artificial, as minas, como popularmente são conhecidas as cavernas artificiais, também são colonizadas por organismos desde o momento de sua abertura, o que as torna habitats subterrâneos (Figura, 1).



Figura 1 Cavernas subterrâneas artificiais localizadas nos municípios de Mariana (A), Alagoa (B) e Caeté (C), Minas Gerais

Apesar das gêneses de cavidades naturais e artificiais serem distintas, ambos os tipos de cavidades podem apresentar características ambientais comuns, determinadas principalmente pela ausência de luz. Desse modo, características como a maior estabilidade na temperatura e na umidade que o ambiente no entorno, além da ausência de organismos fotossintetizante, estão presentes tanto nas galerias artificiais como nas cavernas (FERREIRA, 2004). Além das características ambientais, as minas e as cavernas podem apresentar outras características comuns, como a estrutura das comunidades e as famílias de invertebrados que as colonizam (FERREIRA, 2004). Peck (1988), em um estudo envolvendo algumas minas artificiais e cavernas na região de Ontário, Canadá, encontrou grande semelhança nos taxa que colonizam os dois ambientes. Este autor observou que 58 espécies (20% do total) ou 40% das famílias de invertebrados ocorriam tanto nas cavernas como nas galerias artificiais.

A diferença existente entre a fauna associada às galerias artificiais e as cavernas está relacionada, principalmente, à presença de organismos troglomórficos. Sabendo-se que a construção de cavidades artificiais é recente, o isolamento de populações e a posterior especiação seriam processos improváveis, devido ao curto período de estabelecimento de organismos nesses ambientes de gênese artificial. No entanto, não se pode afirmar que organismos troglóbios não possam vir a ocorrer em sistemas subterrâneos artificiais, pois, caso uma galeria artificial venha a ser construída em um local onde o meio subterrâneo superficial (MSS) seja bem desenvolvido, este espaço construído pelo homem poderá ser colonizado por espécies edafobiontes e, dentre elas, eventualmente algumas espécies troglóbias que vivam ou transitem entre o meio subterrâneo superficial, as cavernas e as galerias artificiais. Por este motivo pode-se afirmar que organismos troglomórficos, quando encontrados nas galerias artificiais, têm sua origem no sistema subterrâneo do entorno (FERREIRA, 2004). Este é o caso ocorrido em um estudo realizado por

Gnaspini e Trajano (1994), que encontraram duas espécies troglomórficas em uma galeria artificial situada em Iporanga, SP.

Em 2005, Ferreira observou a colonização de uma galeria artificial por coleópteros e opiliões troglóbios (comunicação pessoal). Tais espécies, provavelmente, transitam em um sistema de canalículos bem desenvolvidos presente na canga ferruginosa e que permite o eventual trânsito de espécies entre cavernas e galerias artificiais (FERREIRA, 2005).

Até o momento, somente Peck (1988) e Ferreira (2004) realizaram trabalhos relativos à composição faunística, estrutura e/ou funcionamento ecológico de galerias artificiais. No entanto, tais trabalhos foram limitados a certas regiões, tendo se baseado em uma amostragem de poucas galerias artificiais. Dessa forma, estudos mais amplos concernentes às cavidades artificiais nunca foram realizados. Ferreira (2004) coletou invertebrados em apenas seis cavidades artificiais nos municípios de São José da Safira e Novo Oriente de Minas, ambos em Minas Gerais. Este estudo foi executado em poucas cavidades, considerando-se que existem minas desde o sul até o nordeste do estado. Além disso, na região estudada por aquele autor existem centenas ou, até mesmo, alguns poucos milhares de galerias artificiais.

Outro estudo que menciona galerias artificiais foi realizado por Gnaspini e Trajano (1994) que coletaram em apenas uma mina em Iporanga (SP). Tais autores, entretanto, não apresentaram quaisquer conclusões a respeito do funcionamento do sistema mencionado. Finalmente, no Canadá, Peck (1988) coletou em 26 cavernas e 9 minas na região de Ontário, fazendo poucas observações sobre a estrutura das comunidades e o funcionamento das galerias artificiais.

Todos estes estudos foram realizados, principalmente, visando à comparação das minas com as cavernas, tendo as últimas sempre sido objeto

principal dos estudos. Dessa forma, nenhum estudo prévio efetivamente priorizou a compreensão dos sistemas subterrâneos artificiais.

As galerias artificiais têm se mostrado locais interessantes para o desenvolvimento de pesquisas ecológicas. Além disso, é nítida e crescente a necessidade de propostas mais efetivas para o manejo de comunidades cavernícolas e de invertebrados presentes em locais com intensa pressão de desmatamento. Segundo FERREIRA (2004), as galerias artificiais vêm se mostrando ambientes potencialmente utilizáveis na proposição e na eventual resolução de algumas questões que concernem à manutenção da biodiversidade.

3 OBJETIVOS

A presente dissertação foi realizada com o objetivo de estudar as comunidades de invertebrados presentes em cavidades subterrâneas artificiais do estado de Minas Gerais. Além disso, procurou-se evidenciar as eventuais semelhanças existentes entre estes ambientes e as cavernas, subsidiando, futuramente, propostas de ações para o manejo e a conservação da biota de ambientes naturais. Para tanto, pretendeu-se:

- a) identificar as espécies de invertebrados associadas às cavidades subterrâneas artificiais presentes em algumas áreas do estado de Minas Gerais;
- b) avaliar a riqueza, a diversidade, a equitabilidade, a dominância e a complexidade ecológica das cavidades subterrâneas artificiais inventariadas e comparar estes valores com aqueles obtidos em outros estudos realizados em cavernas;
- c) avaliar a similaridade entre as comunidades associadas às diferentes cavidades subterrâneas artificiais;

- d) comparar os táxons associados às cavidades subterrâneas artificiais inventariadas e as espécies existentes em cavernas (utilizando-se de dados existentes na literatura);
- e) caracterizar o ambiente das cavidades subterrâneas artificiais, considerando-se parâmetros de temperatura, umidade e luminosidade;
- f) caracterizar os recursos disponíveis para os invertebrados presentes no interior das cavidades subterrâneas artificiais, levando em consideração os tipos e suas vias de acesso;
- g) caracterizar o ambiente do entorno das cavidades subterrâneas artificiais segundo os usos e os impactos atuais;
- h) identificar a possibilidade de uso das cavidades artificiais subterrâneas como método para a manutenção de diversidade de invertebrados em locais que sofram grandes pressões antrópicas;
- i) avaliar as alterações nas condições ambientais (temperatura e umidade relativa) decorrentes do fluxo de pessoas em sistemas que recebem visitas regulares;
- j) avaliar as alterações nas condições ambientais (temperatura e umidade relativa) decorrentes do funcionamento do sistema de iluminação artificial instalada em sistemas turísticos;
- k) avaliar as alterações na distribuição das populações dos invertebrados decorrentes do fluxo de pessoas;
- l) propor diretrizes básicas que possam auxiliar a implementação de propostas para o uso turístico de cavernas.

4 HIPÓTESES

- a) as galerias artificiais que estão geograficamente próximas devem apresentar semelhança faunística maior que aquelas que estão mais distantes;
- b) as cavidades artificiais devem ser ambientes com menor diversidade de habitats, devido à sua natureza artificial e ao pequeno tempo que estes ambientes estão expostos às variações abióticas. Devido a isso, espera-se encontrar valores inferiores de riqueza, equitabilidade, diversidade e complexidade biológica, quando comparados com as cavernas;
- c) espera-se encontrar, nas cavidades subterrâneas artificiais, os mesmos grupos (famílias, gêneros ou espécies) encontrados em cavernas. Isso porque existem espécies no meio epígeo que apresentam pré-adaptações que as tornam capazes de colonizar os ambientes subterrâneos;
- d) devido à ausência de luz nas cavidades artificiais, o recurso presente nestes sistemas deve ter origem alóctone, sendo carregado por agentes físicos e biológicos, tal como os encontrados na maior parte das cavernas;
- e) cavidades que recebem visitantes periódicos devem apresentar menores valores riqueza, diversidade, equitabilidade, similaridade e complexidade ecológica, decorrentes do impacto causado pela visita regular de pessoas a estes locais;
- f) o funcionamento do sistema de iluminação artificial e o fluxo de turistas elevam os valores de temperatura e umidade do meio hipógeo.

REFERÊNCIAS

BARR, T.; KUEHNE, R. A. Ecological studies in mammoth cave ecosystems of Kentucky. **Annales de Speleologie**, Paris, v. 26, n. 1, p. 47-96, mar. 1971.

BOGGIANI, P. C.; SILVA, O. J. DA; GESICKI, A. L. D.; GALLATI, E. A. B.; SALES L. O.; LIMA, M. M. E. R. Definição de capacidade de carga turística das cavernas do Monumento Natural Gruta do Lago Azul (Bonito, MS). **Geociências**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 333-348, out./dez., 2007.

CIDADES HISTÓRICAS BRASILEIRAS. **Ouro Preto**. 2007. Disponível em <www.cidadeshistoricas.art.br>. Acesso em 12 nov. 2007.

CIGNA, A. A.; BURRY, E. Developmente, management and economy of show caves. **International Journal of Speleology**, Chichester, v. 29b, n. 1/4, p. 1-27, dez. 2000.

CULVER, D. C. **Cave Life: Evolution and Ecology**. 1. ed. London: Harvard University Press, 1982. 189 p.

DESSEN, E. M. B.; ESTON, V. R.; SILVA, M. S.; TEMPERINI-BECK, M. T.; TRAJANO, E. Levantamento preliminar da fauna de cavernas de algumas regiões do Brasil. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 32, n. 6, p. 714-725, jun. 1980.

EBERHARD, S. Cave fauna monitoring and management at Ida Bay, Tasmania. **Records of the Western Australian Museum**, Perth, (Supplement) n. 64, p. 97-104, ago., 2001.

EDINGTON, M. Biological observation on the Ogbunike Cave System, Anambra State, Nigeria. **Studies in Speleology**, Buxton, n. 5, p. 31-38, jan. 1984.

ELLIOTT, W. R. Conservation of the North American cave and karst biota. In: WILKENS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHREYS W. F. (Eds.) **Subterranean ecosystems**. Amsterdam: Elsevier Press, 2000. p. 665-689.

FAUSTO, B.. **História do Brasil**. 1. ed. São Paulo: Edusp, 2003. 650 p.

FERNÁNDEZ-CORTÉS, A.; CALAFORRA, J. M.; ANCHEZ-MARTOS, F. S.; GISBERT, J. Microclimate processes characterization of the giant Geode of Pulpí (Almería, Spain): technical criteria for conservation. **International Journal of Climatology**, Chichester, n. 26, p. 691-706, abr. 2006.

FERREIRA, R. L. 2004. **A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos**. 2004. 161 p. Tese (Doutorado em Ecologia e Manejo da Vida Silvestre) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FERREIRA, R. L.; BERNARDI, L. F. O. ; SOUZA-SILVA, M. Caracterização dos ecossistemas das Grutas Aroê Jari, Kiogo Brado e Lago Azul (Chapada dos Guimarães, MT): Subsídios para o turismo nestas cavidades. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, João Pessoa, v.9, n.1, p.41-58, 2009.

FERREIRA, R. L.; HORTA, L. C. S. Impacts on invertebrate communities in Brazilian Caves. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 61, n. 1, 7-17 p. fev. 2001.

FERREIRA, R. L.; MARTINS R. P. Diversity and distribution of spiders associated with bat guano piles in Morrinho Cave (Bahia State, Brazil). **Diversity and Distributions**, Oxford, v. 4, n. 5-6, p. 235-241, set./nov. 1998.

FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities with special reference to Brazilian caves. **Tropical Zoology**, Firenze, v. 12, n. 2, p. 231-259, dez. 1999.

FERREIRA, R. L.; PROUS, X.; BERNARDI, L. F. O.; SOUZA-SILVA, M. Fauna Subterrânea Do Estado Do Rio Grande Do Norte: Caracterização E Impacto. **Revista Brasileira de Espeleologia**, Brasília, n. 1, v. 1, p. 25-51, dez. 2010.

GNASPINI-NETO, P. Análise comparativa da fauna associada a depósitos de guano de morcegos cavernícolas no Brasil. Primeira aproximação. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 33, n. 2, p. 183-192, jun. 1989.

GNASPINI, P.; TRAJANO, E. Brazilian cave invertebrates, with a checklist of troglomorphic taxa. **Revista Brasileira de Entomologia**, São Paulo, v. 38, n. 3/4, p. 549-584, dez. 1994.

GIBERT, J.; DANIELPOL, D. L.; STANFORD, J. A. **Groundwater Ecology**. 1. ed. New York: Academic Press, 1994. 571 p.

GILLIESON, D. S. **Caves: processes, development, management.** Oxford: Blackwell, 1996. 324p.

HOLSINGER, J. R.; CULVER, D. V. **The invertebrate cave fauna of Virginia and a part of eastern Tennessee: zoogeografia and ecology.** North Carolina: State Museum of Natural Sciences, 1988. 164 p.

HOWARTH, F. G. 1983. Ecology of cave arthropods. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 28, p. 365-389, jan. 1983.

JASINSKA, E. J.; KNOTT, B.; McCOMB, A. J. Root mats in groundwater: a fauna-rich cave habitat. **Journal of North American Benthological Society**, Lawrence, v. 4, n. 15, p. 508-519, dez. 1996.

JUBERTHIE, C; DECU, V. Structure et diversité du domaine souterrain: particularités des habitats et adaptations des espèces. In: JUBERTHIE, C.; DECU, V. (Eds). **Encyclopedia Bioespeleologica.** Moulis-Bucarest: Société de Biospéologie, 1994. 1025p

LINHUA, S.; XIAONING, W.; FUYUAN L. The influences of cave tourism on CO₂ and temperature in Baiyun Cave. **International Journal of Speleology**, Bologna, v.29b, n.1/4, p.77-87, dez. 2000.

LOBO, H. A. S. **O lado escuro do paraíso: espeleoturismo na Serra da Bodoquena.** 2006a. 164p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Mato Grosso, Aquidauana.

LOBO, H. A. S. Caracterização dos Impactos Ambientais Negativos do Espeleoturismo e Suas Possibilidades de Manejo. **IV Seminário de Pesquisa em Turismo do Mercosul/III Seminário da ANPTUR.** Caxias do Sul, RS. Anais do SeminTUR. Caxias do Sul, RS : EDUCS, v.4, p. 1-15, jul. 2006.

LOBO, H. A. S. Capacidade de carga real (CCR) da Caverna de Santana, Parque Estadual Turístico Do Alto Ribeira (PETAR)-SP, e indicações para o seu manejo turístico. **Geociências**, São Paulo, v. 27, n. 3 p. 369-385, jul./set. 2008.

LOBO, H. A. S; PERINOTTO, J. A. J.; BOGGIANI P. C. Capacidade de carga turística em cavernas: estado-da-arte e novas perspectivas. **Espeleo-Tema**, Campinas v.20, n.1/2, p.37-47, dez. 2009.

- PECK, S B. 1988. A review of the cave fauna of Canadá, and the composition and ecology of the invertebrate fauna of cave and mines in Ontário. **Canadian Journal of Zoology**, Ottawa, v. 66, n. 5, p. 1197-1213, maio. 1988.
- PINTO-DA-ROCHA, R. Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907 - 1994). São Paulo. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 39, n. 6, p. 61-163, 1995.
- POULSON, T. L.; WITHE, W. B. The cave enviroment. **Science**, Cambridge, v. 165, n. 3897, p. 971-981, set. 1969
- PULIDO-BOSCH, A.; MARTÍN-ROSALES, W.; LÓPEZ-CHICANO, M.; RODRÍGUEZ-NAVARRO, C. M.; VALLEJOS, A. Human impact in a tourist karstic cave (Aracena, Spain). **Environmental Geology**, Berlim, n.31, v.3/4, p.142-149. jun. 1997.
- SARBU, S. M.; KANE, T. C.; KINKLE, B. K. A chemoautotrophically basead cave ecosystem. **Science**, Cambridge, v. 272, n. 4, p. 1953-1955, dez. 1996.
- SOUZA-SILVA M. **Influência da disponibilidade e consumo de detritos na composição e estrutura de mesofauna cavernícola**. 2003. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- SOUZA-SILVA, M. **Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na Mata Atlântica Brasileira**. 2008. 226 p. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- TRAJANO, E. ; GNASPINI-NETO, P. Composição da fauna cavernícola brasileira, com uma análise preliminar da distribuição dos táxons. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 3, n. 7, p. 383-407. dez. 1991
- TRAJANO, E.; MOREIRA, J. R. A. Estudo da fauna de cavernas da Província Espeleológica Arenítica Altamira-Itaituba, Pará. **Revista Brasileira, de Biologia**, São Carlos, v. 51, n. 1, p. 13-29. fev. 1991
- TRAJANO, E. Cave faunas in the Atlantic tropical rain forest: composition, ecology and conservation. **Biotropica** v. 32, p. 882-893. mar. 2000
- VERÍSSIMO, C. U. V.; SOUZA, A. E. B. A.; RICARDO, J. M.; BARCELOS, A. C.; NETO, J. A. N.; REIS, M. G. M. Espeleoturismo e microclima da Gruta de Ubajara, CE. **Estudos Geológicos**, Recife, v. 15, p. 244-253, mar. 2005.

ZAMPAULO, R. A. **Diversidade de invertebrados cavernícolas na Província Espeleológica Arcos-Pains-Doresópolis (MG):** Subsídios para a determinação de áreas prioritárias para a conservação. 2010. 207 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Universidade Federal de Minas Gerais, Lavras.

ZEPPELINI-FILHO, D.; RIBEIRO, A. C.; RIBEIRO, G. C.; FRACASSO, M. P. A.; PAVANI, M. M.; OLIVEIRA, O. M. P.; OLIVEIRA, S. A.; MARQUES, A. C. Faunistic survey o sandstone caves from Altinópolis region, São Paulo State, Brazil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, São Paulo, n. 43, v. 5, p. 93-99. jun. 2003

PRIMEIRA PARTE

CONSERVAÇÃO E MANEJO DA DIVERSIDADE DE INVERTEBRADOS EM CAVIDADES ARTIFICIAIS

RESUMO

As publicações relacionadas à fauna presente em cavidades subterrâneas no Brasil ainda são incipientes, sendo quase todos os trabalhos focados nas comunidades associadas às cavernas. Apenas dois estudos abordam aspectos relacionados a comunidades de invertebrados associados a cavidades subterrâneas artificiais. Dessa forma, este trabalho foi realizado com o objetivo de tentar compreender os aspectos ecológicos de sistemas subterrâneos artificiais, além de propor métodos de utilização dessas cavidades em manejo de fauna. Por meio de coletas manuais, foram encontradas 594 espécies presentes em um total de 110 cavidades subterrâneas artificiais localizadas em 12 municípios de Minas Gerais. As condições ambientais e de recursos alimentares nas galerias são semelhantes às encontradas em cavernas. Entretanto, nas cavidades artificiais, foi observada, em média, menor riqueza e menor valor de complexidade ecológica que em sistemas naturais. A homogeneidade dos ambientes artificiais proporciona locais com menor número de micro-habitats, estando a fauna distribuída preferencialmente nas proximidades das entradas. Dentre os impactos mais observados no meio externo estão trilhas, desmatamento e atividade extrativista. Os impactos mais recorrentes no meio hipógeo são solo compactado, presença de equipamentos e exploração de recursos hídricos. Tendo em vista o grande número de invertebrados ombrófilos presentes nos ambientes subterrâneos estudados, a construção de cavidades artificiais pode compreender uma alternativa para a manutenção da diversidade de invertebrados, principalmente em locais que tenham sofrido impacto antrópico.

Palavras-chave: Cavernas. Invertebrados. Manejo. Conservação.

1 INTRODUÇÃO

As minas, túneis ou galerias artificiais, da mesma forma que as cavernas, são cavidades subterrâneas, mas que tiveram uma gênese distinta. As cavernas são formadas por agentes naturais (especialmente a água), enquanto as cavidades artificiais são formadas pela ação antrópica. No Brasil, a construção desses ambientes no passado teve como motivação a exploração mineral, que remonta ao período colonial, no início do século XVIII (FAUSTO, 2003). Até os dias de hoje, em algumas regiões do país, como os estados de Bahia e Minas Gerais, ainda se encontram locais onde se utilizam cavidades subterrâneas como método para a exploração de minerais.

Embora as cavernas e as galerias subterrâneas apresentem gênese distinta, estes ambientes apresentam características comuns. Ambos os sistemas podem apresentar ausência permanente de luz, maior estabilidade na temperatura e na umidade que o ambiente no entorno, além da ausência de organismos fotossintetizantes (FERREIRA, 2004). Além das características ambientais, alguns estudos iniciais, realizados no Brasil e no Canadá, apontam para a existência de semelhanças entre as espécies de invertebrados que colonizam as cavidades subterrâneas artificiais e as cavernas (FERREIRA, 2004; GNASPINI & TRAJANO, 1994; PECK, 1988).

Em alguns países, os sistemas subterrâneos artificiais já foram utilizados em estudos de conotação conservacionista. Pelo fato de apresentarem características semelhantes às encontradas em cavernas, alguns túneis e minas têm sido considerados importantes abrigos para certas espécies como morcegos. Além disso, algumas minas subterrâneas já foram utilizadas em ações de manejo de espécies de invertebrados (BELWOOD; WAUGH, 1991; ELLIOT, 1981 e 2000). Dessa forma, as cavidades artificiais têm se mostrado locais interessantes

para o desenvolvimento de pesquisas ecológicas e como alternativas para o manejo de algumas espécies.

Devido à falta de conhecimento a respeito desses sistemas, este trabalho foi realizado com o objetivo geral de conhecer as espécies que compõem suas comunidades e os recursos alimentares presentes. Além disso, avaliaram-se as diferenças entre as comunidades contidas em cavidades presentes em locais com níveis de degradação distintos. Por fim, verificou-se a possibilidade de uso das cavidades em ações de conservação e manejo.

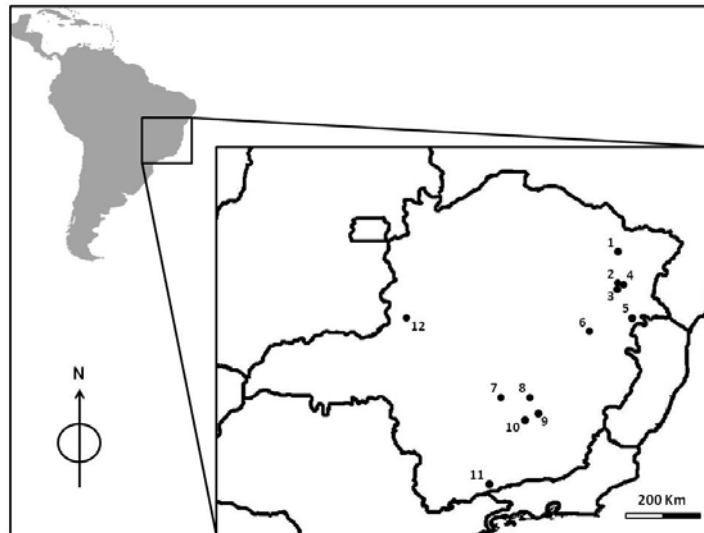
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

As áreas visitadas neste estudo abrangeram doze municípios no estado de Minas Gerais (Figura 1). Nestes municípios foram inventariadas cavidades entre o período de abril de 2008 e novembro de 2009. Estes ambientes são oriundos de atividades antrópicas recentes e também remanescentes do período colonial (Figura 2).

Algumas das cavidades utilizadas neste estudo ainda se encontravam ativas, tendo como uso interior o turismo ou, então, a exploração de minerais com valor econômico. No entanto, a maior parte das cavidades amostradas encontrava-se abandonada.

Foram inventariadas 110 cavidades subterrâneas artificiais presentes nos municípios de Alagoa (2 cavidades), Ataleia (1 cavidade), Caeté (4 cavidades), Caraí (17 cavidades), Mariana (11 cavidades), Mateus Leme (4 cavidades), Medina (13 cavidades), Novo Oriente de Minas (7 cavidades), Ouro Preto (4 cavidades), Padre Paraíso (30 cavidades), São José da Safira (16 cavidades) e Vazante (1 cavidades) (Figuras 1 e 2) (APÊNDICE 1).



Figuras 1 Localização dos municípios onde foram realizados os inventários biológicos em cavidades subterrâneas artificiais. 1 – Medina, 2 – Padre Paraíso, 3 – Caraí, 4 – Novo Oriente de Minas, 5 – Ataleia, 6 – São José da Safira, 7 – Mateus Leme, 8 – Caeté, 9 – Mariana, 10 – Ouro Preto, 11 – Alagoa e 12 – Vazante

Dentre os municípios inventariados, onze encontram-se nos domínios da Mata Atlântica brasileira, estando alguns localizados completamente no domínio deste bioma (Caraí, Novo Oriente de Minas e Padre Paraíso) e outros estão em áreas de transição, entre os biomas Caatinga e Mata Atlântica (Medina) e entre os biomas de Cerrado e Mata Atlântica (Caeté, Mateus Leme,). O município de Vazante é a única localidade inserida completamente nos domínios do Cerrado (CETEC, 1983).



Figura 2 Algumas cavidades subterrâneas artificiais onde foram realizados os inventários biológicos. A - Alagoa, B e C – Padre Paraíso, D – Vazante e E – São José da Safira

2.2 Procedimentos para a coleta de invertebrados

Invertebrados terrestres presentes nas cavidades subterrâneas artificiais foram coletados manualmente, após uma extensiva procura visual, em que foram priorizados micro-habitats potenciais, como troncos, depósitos de guano, espaços sob rochas e locais úmidos (FERREIRA, 2004). A coleta dos espécimes foi realizada manualmente com o auxílio de pinças, pincéis e redes entomológicas.

Cada invertebrado coletado ou observado teve sua posição registrada em um mapa esquemático da cavidade. Dessa forma, ao final de cada coleta, foram geradas informações concernentes à riqueza de espécies, às abundâncias e à

distribuição espacial de cada população presente nos sistemas. Além disso, as características físicas dos micro-habitats onde os espécimes foram coletados ou observados também foram anotadas (FERREIRA, 2004) (Figura 3).

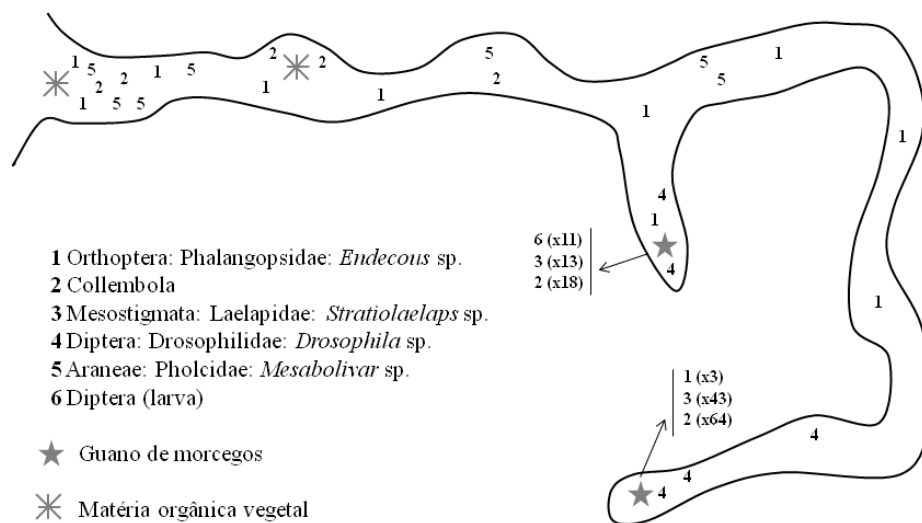


Figura 3 Exemplo hipotético de um croqui esquemático de uma cavidade subterrânea artificial após o inventário faunístico

Todos os invertebrados coletados foram conservados em álcool 70%, levados para o laboratório e identificados, com auxílio de estereomicroscópio ou microscópio, até o menor nível taxonômico possível. Posteriormente, todos os invertebrados foram separados em morfoespécie com base em características de sua morfologia externa, ou encaminhados a especialistas.

Os invertebrados coletados encontram-se depositados na Coleção de Zoologia, Seção de Invertebrados Subterrâneos de Lavras (ISLA), que se encontra no Setor de Zoologia/Departamento de Biologia na Universidade Federal de Lavras.

Durante os inventários biológicos, algumas cavidades não puderam ser completamente percorridas por apresentarem risco de desabamento, oferecendo,

assim, grande perigo para os pesquisadores envolvidos nas atividades de coleta. A mina da Votorantin Metais (Vazante), não teve toda a sua extensão linear amostrada, pois esta cavidade apresenta vários quilômetros de desenvolvimento e algumas zonas são restritas (interditadas), sendo possível o desenvolvimento do trabalho em apenas 500 m de seus condutos.

2.3 Caracterização das comunidades de invertebrados presentes em cavidades subterrâneas artificiais

A riqueza de espécies em cada cavidade foi obtida por meio do somatório do total de morfoespécies encontradas. Os cálculos de diversidade e equitabilidade foram feitos por meio do índice de Shannon-Wiener. Para o cálculo de dominância, foi utilizado o índice de Berger-Parker (MAGURRAM, 2004). Todos os cálculos foram realizados por meio do software PAST versão 1.97 (HAMMER et al., 2003).

Cálculos da complexidade biológica foram feitos para cada cavidade, utilizando o Índice de Complexidade Ecológica (ICE) modificado de Ferreira (2004). Este índice, apesar de ter sido criado tendo como modelo as cavernas, também pode ser utilizado em cavidade subterrâneas artificiais, devido à semelhança existente entre estes ambientes subterrâneos.

Tal índice tem como base o pressuposto teórico de que a complexidade biológica de um sistema está estreitamente ligada ao número de interações potencialmente existentes entre os espécimes presentes na comunidade. Este índice tem como componentes básicos a distribuição potencial das populações, a riqueza e a equitabilidade das comunidades presentes em um sistema subterrâneo (FERREIRA, 2004) (Figura 4).

$$\text{ICE} = \frac{D^2 \cdot E^2 \cdot S(\log S)^2}{100}$$

S = riqueza, E = equitabilidade, D = distribuição espacial das populações

Figura 4 Índice de complexidade ecológica modificado de Ferreira (2004)

A comparação da composição de táxons que constituem a comunidade de sistemas subterrâneos naturais e artificiais foi feita com base em uma revisão bibliográfica dos trabalhos relativos aos invertebrados presentes em sistemas subterrâneos brasileiros (BICHUETTE, SANTOS; 1998; CORDEIRO, 2008; FERREIRA, 2004 e 2005; PINTO-DA-ROCHA, 1995; PROUS; FERREIRA; MARTINS, 2005; SOUZA-SILVA, 2003 e 2008; TRAJANO, 2000; ZAMPAULO, 2009; ZEPPELINI-FILHO et al., 2003).

2.4 Caracterização ambiental do meio hipógeo e do meio epígeo ao seu entorno

Para a caracterização dos recursos orgânicos alóctones presentes em cada cavidade, foram anotados, nos croquis, todos os tipos de materiais orgânicos presentes, sua distribuição pela cavidade e, quando possível, foi feita a caracterização de suas vias de acesso ao sistema. Tal procedimento foi realizado durante o inventário biológico das cavidades subterrâneas, sendo anotados, quando existentes, todas as espécies e o tamanho das populações associadas aos recursos orgânicos observados.

Além disso, foram medidos e anotados os valores de temperatura, umidade e extensão da zona afótica, em cada uma das cavidades. As medidas de temperatura e umidade foram tomadas na porção mediana das cavidades, com auxílio de um termo-higrômetro digital.

A determinação da extensão da zona afótica foi feita com auxílio de um luxímetro posicionado a 1,20 m do solo com a célula receptora voltada para o meio epígeo. Para isso, o aparelho era posicionado na entrada da cavidade e conduzido para o interior do sistema subterrâneo. O local em que era indicado, pelo aparelho, como tendo luminosidade igual a zero foi determinado como a transição entre a zona afótica e a zona fótica. A partir desse ponto, foram tomadas as medidas das extensões de cada uma das zonas.

2.5 Caracterização dos usos e alterações no ambiente epígeo e hipógeo

Os usos e as alterações ambientais nas cavidades e seu entorno imediato (250 metros) foram qualificados com base em fichas preenchidas durante as visitas a cada um dos sistemas (APÊNDICE 2). Estas fichas continham informações sobre a localização da mina, bem como sua posição topográfica na encosta e a inclinação do piso da cavidade em relação a um eixo paralelo ao solo na base da encosta. Na ficha também foram caracterizados os usos e os impactos reais e potenciais presentes em uma área de raio de 250 m no entorno de cada cavidade. A abrangência da área observada é a mesma utilizada para cavidades subterrâneas naturais (cavernas), como determinação do CONAMA (resolução 347 de 2004).

A partir da qualificação dos impactos, foram calculados seus respectivos pesos, utilizando-se metodologia proposta por Souza-Silva (2008). Para isso, foram consideradas modificações que pudessem levar à depleção, ao enriquecimento ou à alteração dos recursos. Essas alterações foram classificadas em “intensas” quando eram consideradas como potenciais causadoras de grandes modificações sobre a fauna (peso 2), ou “tênuas”, quando eram consideradas como potenciais causadoras de alterações mais brandas sobre a fauna (peso 1). As alterações também foram classificadas de acordo com a persistência temporal

das mesmas, tendo aquelas consideradas “de curta duração temporal” recebido peso 1, enquanto aquelas consideradas “contínuas ou de longa duração temporal” receberam peso 3. Por último, as alterações foram classificadas de acordo com a abrangência na cavidade artificial. Impactos pontuais receberam peso 1, enquanto os mais abrangentes receberam peso 2. O maior valor encontrado serviu de base para a criação de quatro categorias de grau de impacto: baixa, média, alta e extrema. Assim, o maior valor encontrado (28) foi utilizado para a criação das classes nos valores de 1-7 pontos, como baixo grau de impacto; 8-13 pontos, como médio grau de impacto; 14-19 pontos, como alto grau de impacto e 20-28 pontos, como grau de impacto extremo (Figura 5).

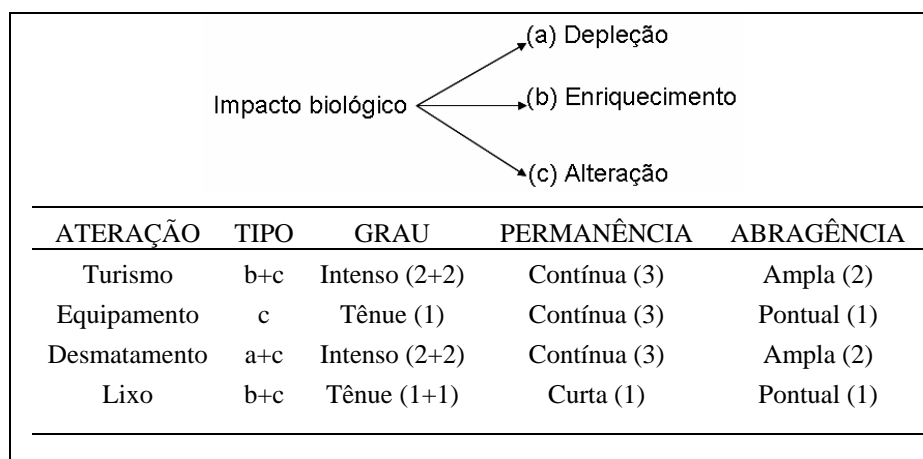


Figura 5 Exemplos da classificação e pontuação (peso) de alterações e impactos observados em cavidades subterrâneas artificiais

O cálculo dos pesos de impactos foi elaborado originalmente para cavernas, de forma que o mesmo foi adaptado à realidade das cavidades artificiais. Tendo em vista que essas cavidades são geradas por atividades antrópicas, a determinação de qual ação poderia ser definida como impacto no meio hipógeo foi feita tomando-se como base cavidades nas quais foram observados os menores números de alterações realizadas pelo homem. A

cavidade escolhida foi aquela situada no município de Carai e sua feição geral é a de um conduto único, com o solo do piso pouco compactado e com presença de rochas soltas, não existindo qualquer sinal de uso recente. Todo material encontrado em seu interior era de origem natural, não sendo importado pelo homem. A cavidade se localizava em uma região de mata e distante de locais com ocupação humana.

2.6 Análises dos dados

A similaridade entre as comunidades presentes nas diferentes cavidades subterrâneas artificiais foi obtida por meio do índice de Jaccard e representada por uma análise de Escalonamento Multidimensional não Métrico (n-MDS). Para verificar a existência de diferenças significativas na composição de espécies de comunidades de invertebrados em cada uma das cavidades foi realizada uma análise de ANOSIM. O índice de Jaccard foi empregado como medida de similaridade para a realização de tal teste. Nesta análise foram excluídos os municípios que apresentaram um número de cavidades amostradas menor que três. Isto foi feito devido à falta de variância existente neste tipo de amostragem. Tais análises foram realizadas por meio do software PAST versão 1.97 (HAMMER et al., 2003).

A percentagem de similaridade (SIMPER) foi utilizada para verificar as semelhanças de espécies que compõem as comunidades existentes em cavidades amostradas em um mesmo município. Além disso, foram testadas as dissimilaridades de espécies existentes entre os municípios. Tais análises foram realizadas por meio do software PRIMER versão 5 (CLARKE; GORLEY, 2001).

Os valores de dissimilaridades de espécies foram relacionados à distância entre os municípios por meio de uma análise não paramétrica

(Correlação de Spearman). Tal análise foi realizada pelo software BIOESTAT versão 5 (AYRES et al., 2007).

Os parâmetros ambientais observados no interior das cavidades (temperatura, umidade, extensão da zona afótica, extensão linear do meio subterrâneo) foram relacionados com os parâmetros biológicos das comunidades (diversidade, equitabilidade, dominância e complexidade). Além disso, também foi verificada a eventual relação entre os valores de impacto e conservação do meio epígeo e hipógeo com os parâmetros biológicos das comunidades. Para estas relações, utilizou-se uma análise paramétrica (regressão linear simples), quando os dados apresentaram-se normais. Quando os dados não se mostraram normais, eles foram logaritimizadas ou, então, correlacionados por meio de uma análise não paramétrica (Correlação de Spearman). Tais análises foram realizadas pelo software BIOESTAT versão 5 (AYRES et al., 2007).

As médias dos “valores médios de distribuição populacional” (VMDP), de equitabilidade, de riqueza e de complexidade ecológica (ICE), encontrados neste estudo, foram comparadas aos valores obtidos por Ferreira (2004) em cavernas distribuídas pelo estado de Minas Gerais. Para isso foram utilizados modelos lineares generalizados (GLM), com distribuição de erros tipo Poisson. Esta análise foi realizada utilizando-se o software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2007).

Para verificar se o tipo de impacto influencia os parâmetros biológicos das cavidades, foram utilizados modelos lineares generalizados (GLM), com distribuição de erros tipo Poisson. Neste caso, a análise também foi realizada utilizando-se o software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2007).

3 RESULTADOS

3.1 Características bióticas e abióticas do ambiente hipógeo

3.1.1 Variáveis abióticas do meio hipógeo das cavidades subterrâneas artificiais

Dentre todas as cavidades visitadas, onze não apresentaram zona afótica, enquanto outras, como a Mina do Morro Vermelho I (Caeté) e a Mina do Chico Rei (Ouro Preto), apresentavam mais de 90% de sua extensão sem a presença de luz. A temperatura no interior das cavidades variou de 16^oC, no Túnel do Ponto do Marambaia I (Caraí), a 29,1^oC na Mina da Perereca Anoréxica (Mariana). A umidade, por sua vez, apresentou variação de 67%, na Mina do Calçamento (Mateus Leme) e na Mina da Fazenda do Sol I, a 100% (saturação), observada em cinco galerias nos municípios de Padre Paraíso, São José da Safira e Mariana.

3.1.2 Recursos alimentares observados no interior das cavidades subterrâneas artificiais

Todos os recursos alimentares observados no interior das cavidades subterrâneas artificiais são de origem alóctone, tendo como prováveis agentes transportadores fatores abióticos com vento, enxurradas, rios e a própria gravidade. No entanto, agentes biológicos também fornecem recursos para estas galerias, como raízes que penetram nas cavidades. Além disso, morcegos, roedores, alguns invertebrados e o homem depositam matéria orgânica nestes ambientes.

Os recursos observados no meio hipógeo foram: matéria orgânica vegetal nas regiões de entrada (100 cavidades), recursos orgânicos carreados por ação antrópica (35 cavidades), guano de morcegos (31 cavidades), ninhos de roedores e pássaros (20 cavidades), fezes de grilo (12 cavidades), raízes (6 cavidades), ovos de aves (5 cavidades), fezes de vertebrados não voadores (3 cavidades), guano de aves (3 cavidades), carcaça de vertebrados (3 cavidades) e lixeira de formigueiro (1 cavidade) (Gráfico 1).

A matéria orgânica carreada pelo vento, pela água das chuvas ou pela gravidade se concentrava principalmente na zona fótica, sendo observada em locais mais profundos em apenas três cavidades.

A Mina do Garrafão, Alagoa, foi a única cavidade com a presença de um rio, curso de água, em seu interior. Tal cavidade apresentava recursos orgânicos carreados pela água, distribuídos homoganeamente por toda a extensão do sistema subterrâneo.

Raízes vegetais não foram recursos observados com frequência. Na Mina da Companhia (Alagoa), elas foram observadas no interior da cavidade, formando emaranhados e pequenos tufos que pendiam pela parede.

Os animais vertebrados se mostraram importantes agentes transportadores de matéria orgânica para o interior das galerias. Em 60 cavidades foram observados espécimes deste grupo, e morcegos estavam presentes em 30 delas. Além disso, em 35 cavidades foi observado apenas algum tipo vestígio da presença vertebrados no meio hipógeo.

Dentre os recursos potenciais transportados pelos vertebrados está, principalmente, o guano de morcegos hematófagos, nectarívoros e frugívoros, além de carcaças, restos de ninhos e fezes de vertebrados não voadores. Em todos estes tipos de restos orgânicos foram encontrados invertebrados associados, sejam utilizando diretamente como recurso alimentar, forrageando em microrganismos que neles se desenvolviam, ou simplesmente se abrigando.

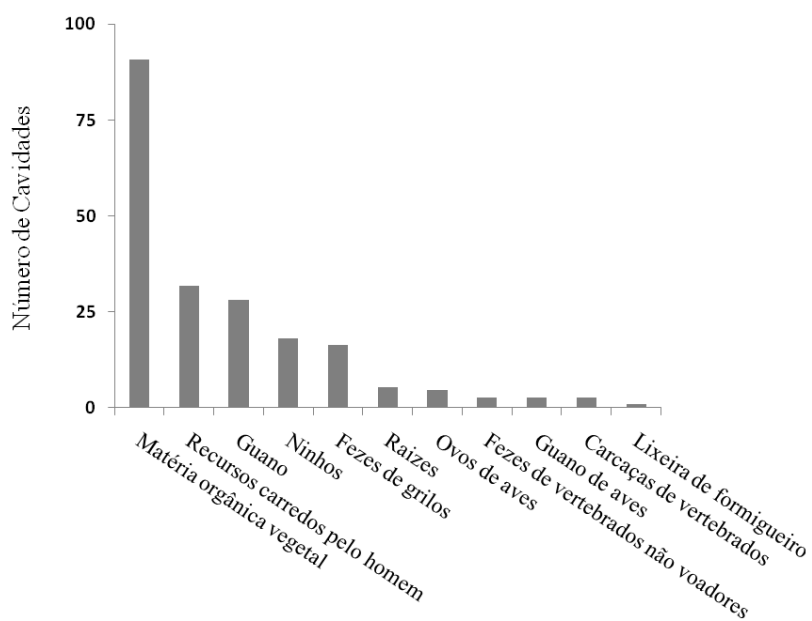


Gráfico 1 Os tipos de recurso observados e o número de cavidades em que eles foram encontrados

Em 18 cavidades foram observadas fezes de grilos dos gêneros *Eidmanacris* e *Endecous* (Orthoptera: Phalangopsidae). Nestas cavidades foi observada a saída das espécies de grilos para o meio epígeo após às 18 horas. Apesar de não ter sido observado o retorno destes espécimes ao meio hipógeo, alguns de seus excrementos foram levados para o laboratório e, quando observados em lupa, pode-se constatar que eram constituídos de pequenos fragmentos vegetais. Tais dejetos compreendem pequenas esferas de cerca de 4 a 5 mm de comprimento, tendo sido observados principalmente no piso das regiões fóticas, onde os espécimes de grilo se concentravam.

Uma lixeira de formigueiro produzida por formigas do gênero *Acromyrmex* (Hymenoptera: Formicidae) foi um recurso observado em uma única cavidade (Fazenda do Sol I, Medina). No entanto, foram observadas

grandes agregações de invertebrados, com populações de mais de 500 indivíduos de ácaros, psocópteros e colêmbolos, potencialmente utilizando este recurso.

Os recursos derivados de ação antrópica estavam presentes, principalmente em cavidades ativas ou recentemente ocupadas. Nestes ambientes foram observados restos vegetais, como troncos (utilizados em escoras para a parede e o teto das cavidades), além de utensílios de madeira e lixo orgânico. No total foram observados 11 tipos de recursos potenciais no interior das cavidades subterrâneas artificiais, estando associados a eles 16 grupos de invertebrados potencialmente utilizando esses restos orgânicos como recurso alimentar (Apêndice C).

3.1.3 Comunidades de invertebrados em cavidades subterrâneas artificiais

Foram amostrados mais de 5.455 m de condutos subterrâneos e um total de 110 cavidades subterrâneas artificiais. As extensões lineares dessas cavidades variaram de poucos metros (Túnel da Fazenda Cilindro IV, em Padre Paraíso, com 1,75 m), a algumas centenas de metros (Túnel do Valdo Silva II, em Padre Paraíso, com 249 m e o Túnel da VMetais, em Vazante, com a extensão amostrada de 500 m).

Foram observados mais de 47 mil espécimes distribuídos em 594 espécies pertencentes a, pelo menos, 131 famílias de 42 ordens. Tais organismos compreendem os seguintes taxa: Araneae (Araneidae: *Alpaida gr. negro*; Ctenidae: *Ancylometes concolor*, *Parabatinga brevipes*, *Enoploctenus cyclotorax*, *Isoctenus*; Dipluridae: *Masteria*; Linyphiidae; Lycosidae: *Aglaoctenus*, *Lycosa erythrognatha*; Mysmenidae: *Microdipoena*; Nesticidae: *Nesticus*; Ochiroceratidae: *Ochyrocera*, *Theotima*; Oonopidae: *Ischnothyrius pelifer*, *Oonops*, *Opopaea deserticola*; Pholcidae: *Mesabolivar*, *Mesabolivar botucatu*, *Mesabolivar aff. nayriara* e *Mesabolivar aff. togatus*; Salticidae,

Scytodidae: *Sytodes fusca*; Segestridae: *Ariadna*; Sicariidae: *Loxosceles similis* e *Loxosceles variegata*; Symphytognathidae, Theraphosidae, Theridiidae: *Achaeranea*, *Coleosoma floridanum*, *Dipoema*, *Episinus*, *Lactrodectus geometricus*, *Nesticodes rufipes*, *Theridion* e *Thymoides*; Theridiosomatidae: *Plato*; Trechaleidae: *Trechaloides*), Opiliones (Cosmetidae: *Gryne perlata*, Gonyleptidae: *Goniosoma*, *Goniosoma apoain*, *Metobatula*, *Mitogoniella indistincta*, *Eusarcus*, *Longiperna*, *Planiphalangodus*, *Pseudopucroliia mutica*; Sclerosomatidae: *Abaetetuba minima*), Palpigradi (Eukoeneniidae: *Eukoenenia*), Mesostigmata (Blastisociidae: *Lasioseius*; Melicharidae: *Proctolaelaps bikleyi*; Macronyssidae, Macrochelidae: *Macrocheles*, *Glypholaspis*; Laelapidae: *Androlaelaps*, *Androlaelaps casalis*, *Gaeolaelaps queenslandicus*, *Stratiolaelaps aff. ornatissima*, *Stratiolaelaps scimitus*; Podocinidae: *Podocinum*; Ologamasidae: *Gamasiphis*; Trematuridae), Ixodida (Argasidae: *Ornithodoros*, *Ornithodoros azteci*; Ixodidae: *Amblyomma* e *Amblyomma rotundatum*), Trombidiformes (Anystidae: *Erythracarus nasutus*; Rhagidiidae, Bdellidae, Cunaxidae, Ereyenetidae, Teneriffiidae: *Neoteneriffiola*), Sarcoptiformes (Acaridae: *Tyrophagus*), Pseudoescorpiones (Chernetidae), Scorpiones (Buthidae: *Tityus adrianoi*), Geophilomorpha, Lithobiomorpha, Scutigermorpha, Symphyla, Spirostreptida: *Pseudonannolene*; Polydesmida (Chelodesmidae: *Leptodesmus*; Pyrgodesmidae, Paradoxosomatidae: *Orthomorpha gracilis*), Isopoda (Philosciidae, Plathyarthridae: *Trichorhina*; Armadilidae), Hemiptera (Cydnidae, Hebridae, Ploiaridae, Reduviidae: *Zelurus*; Veliidae, Cixiidae), Diplura (Anajapygidae, Campodeidae, Japygidae), Zygentoma (Nicoletiidae), Dermaptera, Embioptera, Amphipoda (Hyalellidae: *Hyalella*), Annelida, Blattaria, Coleoptera (Anobiidae, Carabidae, Cerambycidae: *Stenodontes*; Cholevidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Dystiscidae, Dryopidae, Elateridae, Histeridae, Hydrophilidae, Lampyridae, Nilionidae, Nitidulidae, Ptiliidae, Pselaphidae, Scolytidae, Scydmaenidae,

Staphylinidae, Tenebrionidae), Megaloptera (Corydalidae: *Corydalus*), Collembola, Diptera (Asilidae, Psychodidae: *Lutzomyia*; Culicidae: *Anopheles*, *Culex*; Cecidomyiidae, Chironomidae, Drosophilidae: *Drosophila*; Keroplatidae, Phoridae: *Conicera*; Sciaridae, Tipulidae), Ephemeroptera, Orthoptera (Acrididae: *Ronderosia bergi*; Phalangopsidae: *Adelosgryllus*, *Ectecous*, *Endecous*, *Eidmanacris*, *Larnada*, *Strinatia*; Mogoplistidae), Hymenoptera (Formicidae: *Atta*, *Acromyrmex*, *Brachymyrmex*, *Camponotus*, *Crematogaster*, *Dorymyrmex*, *Ectatoma*, *Hypopomera*, *Labidus*, *Odontomachus*, *Pachycondyla*, *Pheidole*, *Solenopsis*; Apidae: *Trigona*; Multillidae, Vespidae: *Mischocyttarus*), Isoptera (Termitidae: *Nasutitermes*), Lepidoptera (Noctuidae: *Latebraria*; Pieridae, Tineidae), Neuroptera (Mantispidae), Psocoptera (Epipsocidae: *Epipsocus*; Lepidopsocidae: *Lepium* e *Nepticulomima*; Liposcelididae, Pachytroctidae: *Pachytroctes*, *Psulloneura*; Psyllipsocidae: *Psyllipsocus*; Ptiloneuridae: *Triplocania*), Syphonaptera, Trichoptera (Xiphocentronidae: *Xiphocentron*), Platyhelminthes (Temnocephalidae), Pulmonata, Mollusca, Nematoda.

As ordens mais ricas foram Diptera (102 espécies ou 17,7%), seguida de Coleoptera (83 espécies ou 13,97%) e Araneae (62 espécies ou 10,43%). Já as ordens mais abundantes foram Araneae (9.695 indivíduos), Orthoptera (7.789 indivíduos), Opiliones (6.131 indivíduos), Collembola (5.974 indivíduos) e Mesostigmata (4.190 indivíduos). As ordens mais frequentes foram Araneae (110 cavidades ou 100%), seguida de Orthoptera (108 cavidades ou 98,18%) e Diptera (98 cavidades 89,09%). As espécies observadas em um maior número de cavidades foram *Mesabolivar aff. togatus* (Araneae: Pholcidae) (69 cavidades ou 62,72%), *Eidmanacris* sp1 (Orthoptera: Phalangopsidae) (56 cavidades ou 50,9%) e *Lutzomyia* sp1 (Diptera: Psychodidae) (47 cavidades ou 42,7%).

A média de riqueza observada foi de 15 espécies por cavidade. As cavidades que apresentaram os maiores valores de riqueza foram a Mina do

Beija Flor (Mateus Leme), com 36 espécies e a Mina do Calçamento (Mateus Leme), com 34 espécies. Os menores valores de riqueza foram encontrados na Mina do Milto Godinho XIII (São José da Safira), no Túnel do Preto do Zé Cota (Carai), no Túnel do Ponto do Marambaia III (Carai), no Túnel do Povoado das Andorinhas (Carai) e no Túnel da Fazenda Cilindro III (Padre Paraíso), onde foram observadas apenas cinco espécies.

A riqueza média de espécies nos setores próximos à entrada foi maior do que aqueles que se encontravam em regiões mais interiores. O maior valor encontrado foi observado no setor de entrada (setor I) (6,385 espécies) e os menores valores foram observados nos setores IX e X (2,073 e 2,495 espécies, respectivamente) (Gráfico 2).

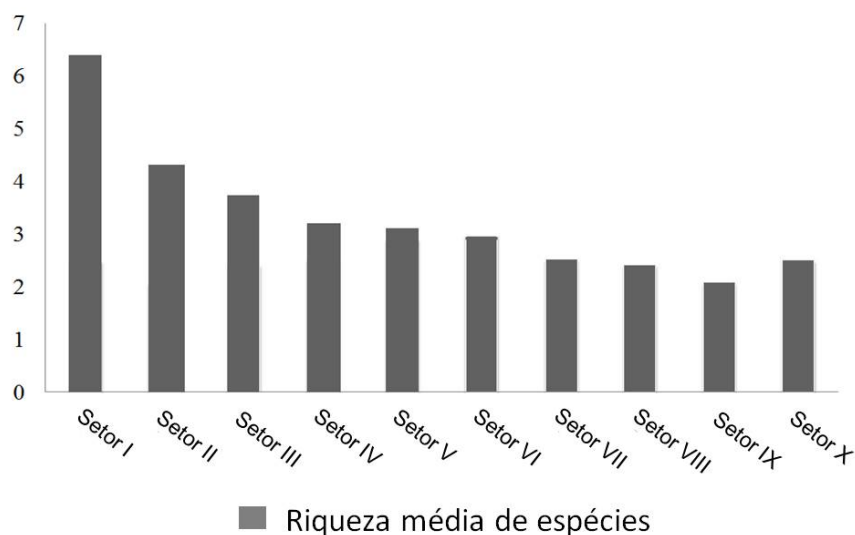


Gráfico 2 Riqueza média de espécies encontrada em cada um dos setores das cavidades subterrâneas artificiais. O setor 1 representa o setor de entrada

Os menores valores de diversidade, equitabilidade e complexidade ecológica foram encontrados na Mina da Fazenda Serra Azul II, localizada em Medina (0,2876; 0,109 e 0,009, respectivamente). O maior valor de diversidade foi observado na Mina do Aqueduto I, localizada em Mateus Leme (2,888). O maior valor de equitabilidade foi observado na Mina da Água localizada em Mariana (0,9241). O maior valor obtido por meio do Índice de Complexidade Ecológica foi 6,558, observado na Mina do Beija Flor (Mateus Leme).

Os valores de dominância variaram entre 0,008, na Mina do Aqueduto I (Mateus Leme) e 0,9, na Mina da Fazenda Serra Azul II (Medina).

A similaridade entre as comunidades apresentou variação entre zero, encontrado para 1.238 combinações entre pares de cavidades, e o valor máximo de 61,5%. Este valor máximo de similaridade foi encontrado para as comunidades presentes nas cavidades Túnel do Domingos Pastel II e Túnel do Domingos Pastel III, município de Padre Paraíso, separadas por uma distância geográfica de 140 m (Gráfico 3). Apenas outros quatro pares de cavidades apresentaram valor de similaridade superior ou igual a 50%.

A análise de nMDS apresentou uma agregação de pontos em que é possível distinguir maior proximidade de cavidades presentes em localidades geograficamente próximas. Grande parte dos municípios apresentou-se sobreposta, não sendo possível distingui-los. As regiões que se apresentaram completamente distintas e sem sobreposições são os municípios de Alagoa e Vazante (Gráfico 3).

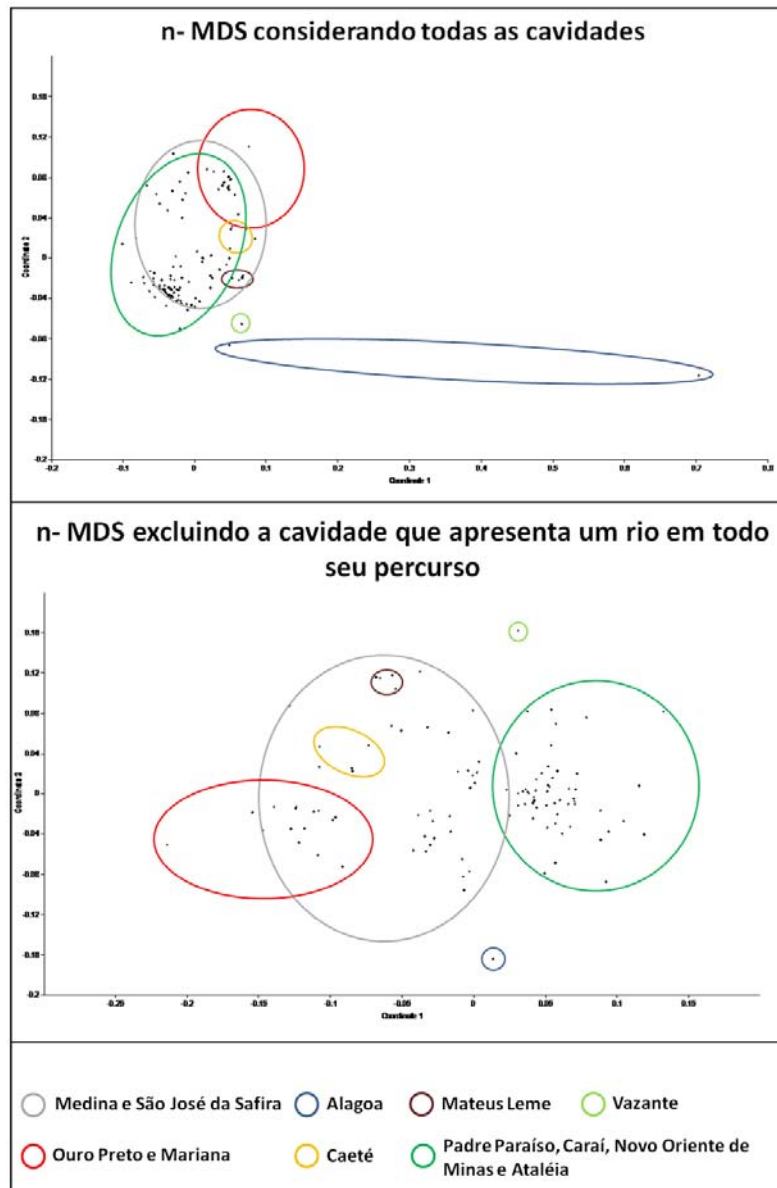


Gráfico 3 Escalonamento multidimensional não métrico (n-MDS), apresentando a similaridade entre as cavidades subterrâneas artificiais estudadas nos municípios de Alagoa, Vazante, Medina, São José da Safira, Mateus Leme, Carai, Padre Paraíso, Novo Oriente de Minas, Ataleia, Caeté, Mariana e Ouro Preto

Segundo a análise de ANOSIM, os municípios que apresentaram diferenças suficientes e podem ser considerados grupos distintos são Ouro Preto e Mariana (Tabela 1 e 2).

Tabela 1 Valores de r e p obtidos segundo análise de ANOSIM. Ca: Caeté, Cr: Carai, Ma: Mariana, ML: Mateus Leme, Me: Medina, NOM: Novo Oriente de Minas, OP: Ouro Preto, PP: Padre Paraíso, SJS: São José da Safira (*valor significativo, p menor que 0,05)

R p	Ca	Cr	Ma	ML	Me	NOM	OP	PP	SJS
Ca	--	0,0004	0,0009	0,029	0,0008	0,0009	0,027	0	0,0003
Cr	0,952	--	0	0,0004	0	0	0	0,04	0
Ma	0,885	0,988	--	0,0006		0,0001	0,461	0	0
ML	1	0,987	0,9925	--	0,0001	0,0014	0,03	0	0,0001
Me	0,886	0,613	0,9345	0,933	--	0	0,0005	0	0
NOM	0,767	0,463	0,886	0,744	0,698	--	0,0012	0	0
OP	0,947	0,986	0,003*	1	0,916	0,7586	--	0	0
PP	0,998	0,092	0,9988	0,999	0,703	0,7636	0,999	--	0,0002
SJS	0,763	0,772	0,8444	0,936	0,699	0,7817	0,810	0,878	--

Os maiores valores de similaridade encontrados entre as comunidades presentes em cavidades de uma mesma localidade foram observados no município de Carai (46,79%), seguido de Mateus Leme (31,18%) e Ouro Preto (35,03%). Os menores valores foram registrados para os municípios de Novo Oriente de Minas (13%) e Medina (28,24%). O município de Vazante não foi incluído neste cálculo, devido à amostragem de apenas uma cavidade (Tabela 3).

Tabela 3 Valores de similaridade (%) encontrados para as comunidades presentes em cavidades de um mesmo município. Al: Alagoa, Ca: Caeté, Cr: Caraiá, Ma: Mariana, ML: Mateus Leme, Me: Medina, NOM: Novo Oriente de Minas, OP: Ouro Preto, PP: Padre Paraíso, SJS: São José da Safira

Valores de similaridade entre as comunidades de cavidades de um mesmo município	
Al	23,08
Ca	46,79
Cr	26,69
Ma	31,18
ML	41,68
Me	28,24
NOM	13,7
OP	35,03
PP	31,68
SJS	29,58

Os maiores valores de dissimilaridades de espécies encontrados entre diferentes localidades foram observados entre os municípios de Ataleia e Alagoas (100%), e entre os municípios de Ataleia e Vazante (100%). Os menores valores foram registrados entre os municípios de Mariana e Ouro Preto (68,42%) e Padre Paraíso e Caraiá (71,75%) (Tabela 4).

Tabela 4 Valores de dissimilaridade (%) encontrados para a comunidade de cavidades presentes em diferentes municípios. At: Ataleia, Ca: Caeté, Cr: Carai, Ma: Mariana, ML: Mateus Leme, Me: Medina, NOM: Novo Oriente de Minas, OP: Ouro Preto, PP: Padre Paraíso, SJS: São José da Safira

Ca Sa	Al	At	Ca	Cr	Ma	ML	Me	NOM	OP	PP	SJS
Al	--										
At	100	--									
Ca	97,25	93,76	--								
Cr	97,78	80,13	95,10	--							
Ma	98,5	93,68	89,52	97,22	--						
ML	97,42	91,92	83,88	94,79	96,09	--					
Me	98,5	82,18	89,33	86,70	92,49	91,47	--				
NOM	99,03	77,69	97,17	85,7	97,31	92,62	91,48	--			
OP	97,28	95,32	84,16	96,43	68,42	93,89	91,17	97,49	--		
PP	97,93	80,36	94,89	71,75	97,9	87,18	84,88	84,53	97,17	--	
SJS	98,52	86,03	88,03	88,39	91,14	95,10	86,85	93,62	90,5	87,35	--
Va	100	92,31	94,21	97,66	97,35	99,26	94,41	95,12	97,89	96,26	96,78

3.2 Características bióticas e abióticas do ambiente hipógeo

3.2.1 Usos e impactos do meio hipógeo e do ambiente de entorno das cavidades subterrâneas artificiais

Os principais impactos e usos encontrados nas áreas de entorno das cavidades artificiais foram trilhas (99 localidades), desmatamento (90 localidades), atividade extrativista (89 localidades) e corte seletivo de madeira (79 localidades) (Gráfico 4).

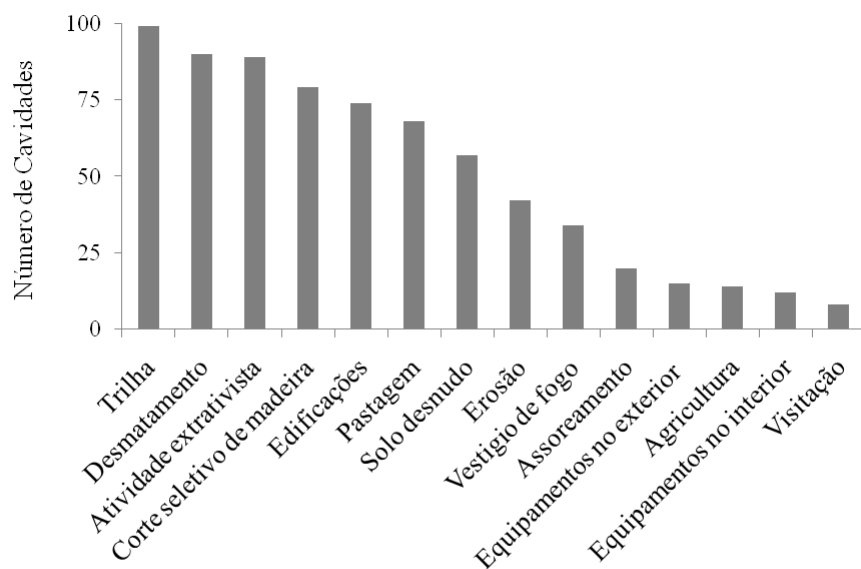


Gráfico 4 Usos e impactos observados em um raio de 250 m do entorno das cavidades subterrâneas artificiais

No interior dos sistemas subterrâneos, as principais alterações observadas foram a compactação do solo por pisoteamento antrópico (36 cavidades), a presença de equipamentos (18 cavidades) e a exploração de recursos hídricos (três cavidades) (Gráfico 5).

Os maiores valores de impactos foram observados nas cavidades da Mina Velha, Mina do Chico Rei e Mina de Vila Rica, que apresentam uso turístico recente (28 pontos).

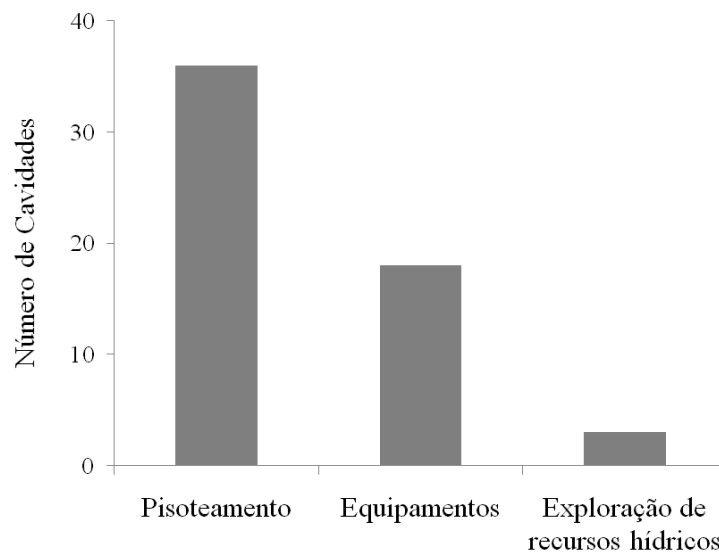


Gráfico 5 Usos e impactos observados no interior das cavidades subterrâneas artificiais

No Túnel do Preto do Zé Cota I (Carai), não foram observados quaisquer impactos em seu interior e no meio epígeo. Além desta cavidade, outras oito apresentaram baixos valores de impacto (correspondente a 3) e estão inseridas no município de Carai (duas cavidades), Mariana (três cavidades) e Mateus Leme (três cavidades).

Do total de galerias inventariadas, 38 (35%) foram consideradas de baixo impacto; 52 (48%) foram consideradas de médio impacto; 11 (10%) foram consideradas como altamente impactadas e apenas oito sistemas (7%) foram classificados como de extremo impacto.

3.3 Relações entre os parâmetros bióticos e abióticos

A riqueza total de espécies não apresentou relação significativa com a extensão total amostrada em cada uma das cavidades.

A dissimilaridade de espécies encontradas entre dois diferentes municípios apresentou relação significativa e positiva com a distância entre as localidades ($R_s = -0,3975$, $p < 0,000949$) (Gráfico 8).

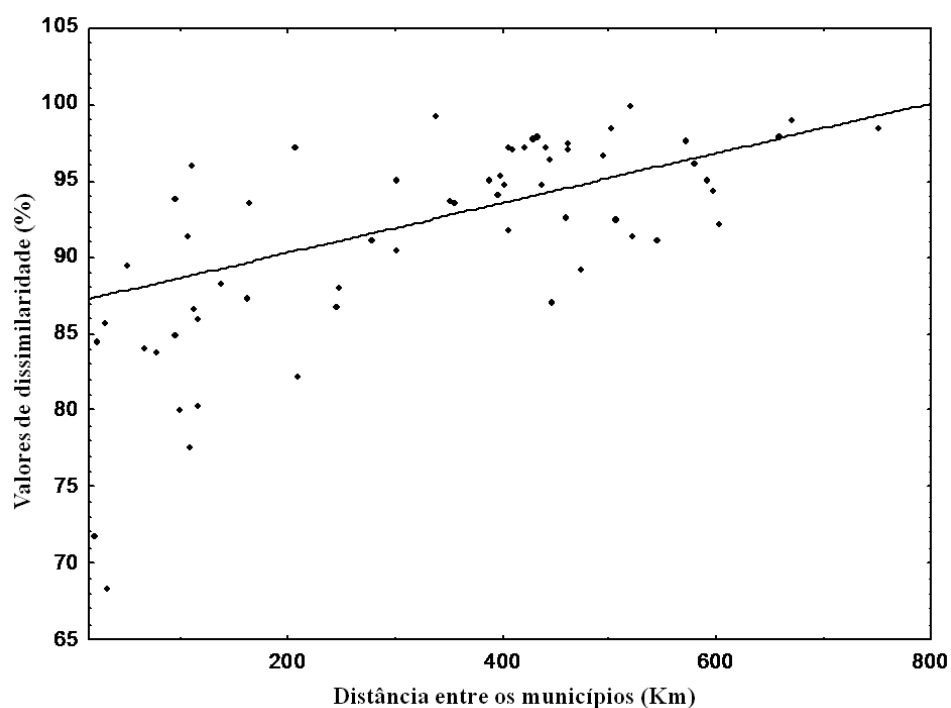


Gráfico 8 Relação entre dissimilaridade de espécies encontradas a distância geográfica entre dois diferentes municípios

As médias dos Valores Médios da Distribuição das Populações (VMDP) encontrados em cavidades artificiais apresentaram diferenças significativas, quando comparadas aos valores observados em cavernas amostradas por Ferreira (2004) ($F_{(1,213)} = 63,657$, $p < 0,001$) (Gráfico 9).

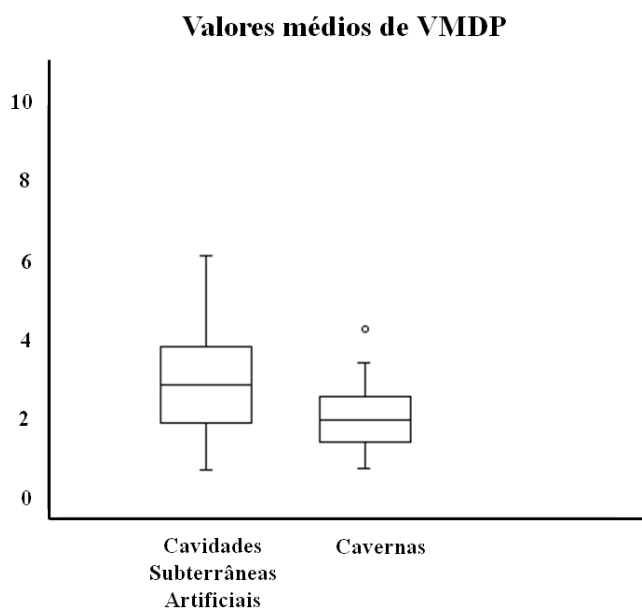


Gráfico 9 Valores médios das distribuições das populações (VMDP) encontrados em cavidades artificiais e cavernas

Também foram observadas diferenças significativas entre os valores médios complexidade (ICE) entre as cavidades artificiais deste estudo e as cavernas estudadas por Ferreira (2004) ($F_{(1, 213)} = 15.778$, $p < 0,001$) (Gráfico 11).

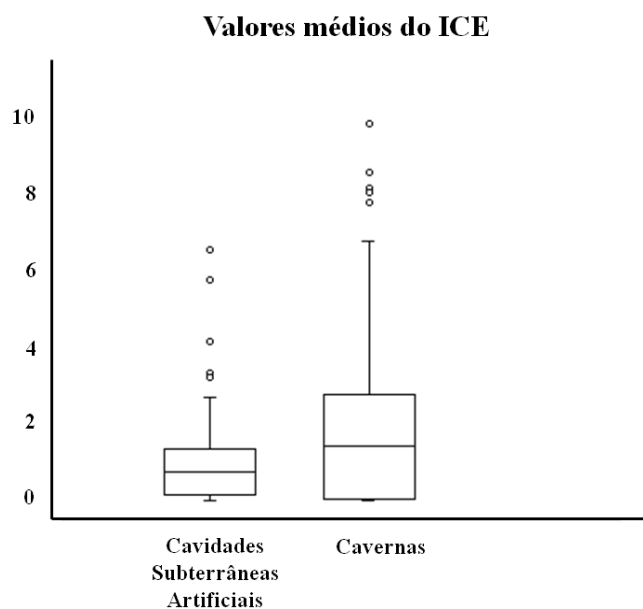


Gráfico 11 Valores Médios obtidos através do Índice de Complexidade (ICE) encontrado em cavidades artificiais e cavernas

A análise de GLM não mostrou diferenças significativas quando foram comparados os valores médios de riqueza e equitabilidade observados nas cavidades artificiais deste estudo e nas cavernas estudadas por Ferreira (2004).

O peso de impacto não mostrou quaisquer relações significativas com as variáveis bióticas (riqueza, diversidade, equitabilidade e complexidade ecológica) presentes no meio hipógeo.

A análise de GLM não mostrou diferenças significativas quando comparados aos valores das variáveis da comunidade biológica (riqueza, diversidade, equitabilidade e complexidade ecológica) inserida em diferentes tipos de vegetação e sobre influência dos principais impactos observados no meio hipógeo.

4 DISCUSSÃO

4.1 Condições ambientais e recursos alimentares em cavidades artificiais

As condições ambientais presentes nas cavidades artificiais são semelhantes às encontradas em cavernas. A elevada umidade, a presença de grandes zonas afólicas e a temperatura constante são comuns nos sistemas subterrâneos, sejam eles naturais ou artificiais (FERREIRA, 2004).

Os tipos de recursos encontrados no interior das cavidades subterrâneas artificiais são semelhantes aos observados em cavernas. A ausência de luz impossibilita a existência de organismos fotossintetizantes, sendo agentes abióticos e bióticos importantes carreadores de matéria orgânica para o meio hipógeo (CULVER, 1982; EDINGTON, 1984; FERREIRA; MARTINS, 1999; GNASPINI-NETO, 1989; HOWARTH, 1983). A principal diferença entre estes sistemas reside no fato de que em cavidades artificiais, ativas ou recentemente desativadas, o homem é o maior responsável pela importação de matéria orgânica.

Fato que merece destaque é a presença de invertebrados responsáveis pelo aporte de recursos em sistemas subterrâneos artificiais. Exemplos de grilos e outros invertebrados responsáveis por aporte de recursos já foram relatados para cavernas (POULSON, 2005). Na América do Norte, na Europa e em algumas cavernas da Ásia, África do Sul e da Tasmânia, os grilos saem dos sistemas hipógeos para se alimentar e, quando retornam, defecam nas cavernas. Suas fezes são importantes recursos alimentares para a fauna detritívora (DORAN, 1997; POULSON, 2005). Entretanto, no Brasil, a presença de invertebrados como veiculadores de recursos para os sistemas cavernícolas não é algo comum (FERREIRA, 2000).

Um exemplo de um importante invertebrado veiculador de matéria orgânica para o meio hipógeo é a espécie de grilo *Ceuthophilus secretus* (Orthoptera: Rhabdophoridae), presente nos Estados Unidos. Esta espécie é encontrada em cavernas dos Estados Unidos e pode se deslocar para forragear a distâncias superiores a 105 m da entrada das cavidades. Após retornar às cavidades, os indivíduos defecam no interior desses sistemas, sendo suas fezes uma importante fonte de recursos para os invertebrados troglófilos (TAYLOR; KREJCA; DENIGHT, 2005)

Em cavernas da Austrália e dos Estados Unidos, algumas espécies de formigas já foram associadas a impactos presentes em sistemas subterrâneos. Alguns autores observaram formigas atuando como predadores de espécies troglóbias e troglófilas, levando à diminuição significativa de algumas de suas populações. Além disso, formigas podem contribuir para a depauperação de recursos por meio de coletas de material orgânico no meio hipógeo (e.g. guano) (ELLIOTT, 1981 e 2000; MOULDS, 2006; REDDELL et al., 2009). Entretanto, no Brasil, as formigas podem ser importantes veiculadoras de recurso orgânico para o meio hipógeo, mesmo que a ocorrência de lixeiras seja algo pouco frequente em cavidades subterrâneas (FERREIRA, 2000).

Apesar do guano de morcegos consistir no tipo de recurso mais frequente carregado por vertebrados, em sistemas subterrâneos artificiais, ninhos e fezes de outros vertebrados também são importantes fontes de matéria orgânica. Em cavernas, outros vertebrados, tais como aves e pequenos roedores, também podem ser encontrados transitando pelo meio hipógeo, sendo suas fezes utilizadas por pequenos invertebrados como hábitat e recurso alimentar (CALDER; BLEAKNEY, 1965; HERNANDES; BERNARDI; FERREIRA, 2011; HERRERA, 1995).

4.2 Estrutura das comunidades de invertebrados

Os estudos relacionados à fauna presente em cavidades subterrâneas no Brasil ainda são incipientes. Somente a partir da década de 1980 as pesquisas nesta área começaram a ser sistematizadas, principalmente a partir do trabalho de Dessen e colaboradores (1980).

Quase todos os trabalhos publicados no país acerca de fauna subterrânea focaram cavernas. Dentre eles, somente dois estudos realizaram um inventariamento da fauna de invertebrados e investigaram alguns aspectos da ecologia de cavidades subterrâneas artificiais (FERREIRA, 2004; GNASPINI; TRAJANO, 1994). Gnaspini e Trajano (1994) estudaram uma cavidade em Iporanga SP, tendo feito somente um levantamento da fauna de invertebrados. Posteriormente, Ferreira (2004) realizou alguns estudos em seis cavidades de municípios da região nordeste do estado de Minas Gerais. Tal autor fez levantamentos mais sistematizados, gerando dados ambientais e ecológicos destes sistemas subterrâneos, tais como riqueza, abundância e distribuição das populações, complexidade ecológica e equitabilidade.

Tanto no presente trabalho quanto nos estudos anteriormente citados, os invertebrados encontrados nas cavidades subterrâneas artificiais são organismos que também podem ser encontrados em cavernas. Os grupos mais frequentemente encontrados em cavidades artificiais, tais como aranhas do gênero *Mesabolivar* (Araneae: Pholcidae) e grilos do gênero *Endecous* e *Eidmanacris* (Orthoptera: Phalangopsidae) são largamente distribuídos em cavernas por todo o território brasileiro (BICHUETTE; SANTOS, 1998; CORDEIRO, 2008; FERREIRA, 2004; FERREIRA et al., 2010; PINTO-DA-ROCHA, 1994; SOUZA-SILVA, 2008, TRAJANO, 2000; ZAMPAULO; 2009, ZEPPELINI-FILHO et al., 2003). Peck (1988) também encontrou semelhanças entre a fauna de invertebrados nos ambientes de cavidades artificiais e cavernas

na região de Ontário, Canadá. Nestas cavidades, 58 espécies (20% do total) ou 40% das famílias de invertebrados ocorrem em ambos os sistemas.

As características comuns existentes entre os ambientes subterrâneos, tais como umidade geralmente elevada, temperatura pouco variável e dependência de recursos orgânicos alóctones, podem ser fatores determinantes para que haja semelhança entre as espécies que colonizam ambos os sistemas.

A principal diferença existente entre a fauna associada às cavidades artificiais e as cavernas está relacionada à presença de organismos troglomórficos. Sabendo-se que a construção de cavidades artificiais é recente, o isolamento de populações e a posterior especiação seriam processos improváveis, devido ao curto período de estabelecimento de organismos nestes ambientes de gênese artificial. No entanto, não se pode afirmar que organismos troglóbios não possam vir a ocorrer em sistemas subterrâneos artificiais. Caso uma galeria artificial venha a ser construída em um local onde o meio subterrâneo superficial (MSS) seja bem desenvolvido, este espaço poderá ser colonizado por espécies edafobiontes e, eventualmente, por algumas espécies troglóbias que vivem ou transitam entre o meio subterrâneo superficial, as cavernas e as cavidades artificiais. Segundo Ferreira (comum. pessoal), uma espécie de opilião troglóbio foi encontrada em cavidades artificiais no município de Nova Lima, MG. Esta espécie foi observada somente depois da construção da cavidade, durante a realização de um monitoramento da comunidade de invertebrados presentes na cavidade. Esta região apresenta um meio subterrâneo superficial desenvolvido, o que pode facilitar o trânsito de espécies entre os sistemas subterrâneos (FERREIRA, 2005).

Gnaspini e Trajano (1994), ao estudarem uma cavidade artificial do estado de São Paulo, observaram duas espécies troglomórficas, um besouro (Pselaphidae: *Arthmius*) e um diplópoda (Cryptodesmidae), as quais, provavelmente, colonizaram a cavidade por meio da migração por canalículos e

espaços subterrâneos naturais existentes entre cavernas e estes sistemas artificiais.

Apesar de algumas espécies de invertebrados estarem largamente distribuídas por todos os municípios contemplados neste estudo, também pode ser observado um grande número de espécies peculiares presentes apenas em um conjunto de poucos sistemas subterrâneos. Tais espécies são encontradas em áreas restritas a poucos ou a um único município, e são organismos que não são acidentais. Com destaque, podemos citar algumas espécies de Opiliões (*Gryne perlata*, restrita à região nordeste, e *Abaetetuba minina*, restrita ao norte), grilos (*Strinatia*, restrito à região central e *Adelosgryllus*, restrito à região nordeste). Estas e outras espécies impõem a algumas localidades características específicas em suas comunidades.

A ocorrência de espécies restritas a determinadas localidades não é algo exclusivo das cavidades artificiais. Ferreira et al. (2010) observaram, em cavernas do estado do Rio Grande do Norte, elementos únicos que apresentam sua distribuição restrita àquela região. Alguns invertebrados que se enquadram nesta categoria são aracnídeos da ordem Schizonida (Hubardiidae), homópteros (Hemiptera: Kinnridae) e isópodes (Isopoda: Cirolanidae). A presença destas espécies restritas a esta área se deve às condições únicas daquele local (baixa altitude, proximidade com o oceano, dentre outras), onde estão inseridos estes sistemas subterrâneos.

A similaridade das comunidades de invertebrados encontradas em cavidades geograficamente próximas pode ser visualizada por meio das agregações de NMDS e da relação entre a dissimilaridade e as distâncias geográficas. Apesar de não haver muitos estudos que demonstrem que a dissimilaridade esteja relacionada com a distância entre ambientes subterrâneos, Zampaulo (2009) também encontrou grande semelhança entre cavernas

geograficamente próximas, localizadas na província espeleológica Arcos-Pains-Doresópolis, centro-oeste de Minas Gerais.

4.3 Impactos de origem antrópica no meio hipógeo e no entorno das cavidades subterrâneas artificiais

A remoção da vegetação do entorno de sistemas subterrâneos artificiais talvez seja o principal impacto para as comunidades biológicas destes sistemas. A presença de recursos em sistemas subterrâneos ocorre pela veiculação de matéria orgânica do meio epígeo para o hipógeo (SOUZA-SILVA, 2003). A remoção da vegetação arbórea pode diminuir a disponibilidade de matéria orgânica a ser transportada, tornando o ambiente das cavidades subterrâneas artificiais pobres em recurso. Trajano (2000) apontou, como um dos pontos de fragilidade das cavernas, a grande dependência de recursos provenientes dos ambientes epígeos. Tal autora considera que a remoção da vegetação externa corresponde a um dos fatores que podem causar a extinção de populações presentes em cavernas inseridas no bioma da Mata Atlântica. Além disso, organismos troglóxenos, tais como alguns morcegos e invertebrados, são dependentes de áreas preservadas no meio epígeo para que possam encontrar recurso e manter suas populações.

Os impactos observados no meio hipógeo também foram semelhantes àqueles encontrados por Souza-Silva (2008), ao estudar cavernas associadas à Mata Atlântica brasileira. Entretanto, a compactação do solo é o principal impacto em cavidades artificiais. Esta ação antrópica, diferentemente do que ocorre em cavernas, é inerente à existência das galerias artificiais, que precisam ser “pisoteadas” enquanto são construídas. Somente em galerias mais antigas o solo se encontra menos compactado. Tal fato decorre da ação de intemperismo e pequenos colapsos da estrutura física das galerias. Ambos os processos acabam

por modificar o piso dos sistemas artificiais, aumentando a diversidade de micro-habitats disponíveis para a fauna.

4.4 Relações entre variáveis bióticas e abióticas

Em cavernas, a riqueza total de espécies geralmente apresenta relação positiva com o desenvolvimento linear da cavidade (CHRISTMAN; CULVER, 2001; FERREIRA, 2004; ZAMPAULO, 2009). Entretanto, nas cavidades subterrâneas artificiais não foi observada esta relação. Segundo Ferreira (2004), cavernas maiores podem ser morfologicamente mais heterogêneas, apresentando maior diversidade de habitats, o que resulta na colonização desses ambientes por um grande número de espécies. Entretanto, nas cavidades artificiais, o solo geralmente se encontra muito homogêneo devido à compactação pela ação antrópica. Conseqüentemente, a diversidade de habitats é pequena, mesmo em cavidades extensas, o que pode explicar a inexistência da relação supracitada.

A homogeneidade dos habitats subterrâneos artificiais também faz com que estes ambientes possuam uma menor riqueza total, quando comparados às cavernas. Souza-Silva (2008), estudando cavernas na Mata Atlântica brasileira, observou, em cavernas localizadas em algumas das áreas abrangidas por este estudo, valores de riqueza superiores ao dobro daqueles encontrados em cavidades artificiais de mesma extensão.

Nas cavernas Toca do Zé Branco (50 m, Novo Oriente de Minas), Toca do Ribeirão Anastácio (10 m, Novo Oriente de Minas) e na Caverna da Boa Vista (80 m, Padre Paraíso), Souza-Silva (2008) observou valores de riqueza correspondentes a 30, 22 e 48, respectivamente. Em cavidades artificiais de mesma extensão e situadas em localidades próximas, foram encontrados valores de riqueza inferiores, tais como aqueles observados no Túnel da Cibele III (80 m, Padre Paraíso, riqueza igual a seis espécies), o Túnel do João VI (17,4 m,

Padre Paraíso, riqueza igual a 13 espécies) e o Túnel do Jorginho (51 m, Caraiá, riqueza igual a 21 espécies).

As médias dos valores obtidos pelo Índice de Complexidade Ecológica (ICE) nas galerias foram inferiores (média igual a 0,923) ao observado por Ferreira (2004) (média igual a 1,748) e por Zampaulo (2010) (média igual a 3,67), ambos os estudos conduzidos em cavernas de Minas Gerais.

Os valores de complexidade em sistemas artificiais tendem a ser mais baixos que aqueles presentes em cavernas, provavelmente devido à baixa riqueza de espécies presentes nestes ambientes. Segundo Ferreira (2004), um menor número de espécies pode determinar poucas possibilidades de interações, resultando em sistemas com menor complexidade. Os maiores valores de complexidade observados em cavidades artificiais foram obtidos em galerias que possuíam características semelhantes às cavernas ou, então, apresentavam situações atípicas quanto à distribuição de recursos alimentares.

As zonas de entrada são locais de transição entre os sistemas epígeos e hipógeos, caracterizados como ecótonos. Tais regiões tendem a possuir elevada diversidade e riqueza de espécies (CULVER, 1982; HANSEN; DI CASTRI, 1992; PROUS; FERREIRA; MARTINS, 2004). Valores mais elevados de riqueza em regiões próximas às entradas podem estar relacionados ao grande número de táxons distintos que podem utilizá-las, compondo comunidades muitas vezes exclusivas destes locais (CULVER, 1982; CULVER; POULSON, 1970; FERREIRA; MARTINS, 2001). Além disso, outro fator que pode elevar o número de espécies em zonas de entrada de cavidades artificiais é a presença de uma maior quantidade de recursos alimentares. Em todas as cavidades foram observadas agregações de material vegetal junto às entradas. No entanto, a presença de outros recursos no interior das galerias foi, na maior parte das vezes, pontual (e.g. pequenas manchas de guano) ou, até mesmo, inexistente. Peck (1988), em um estudo realizado em cavernas e galerias artificiais no Canadá,

observou, em algumas galerias, agregações de espécimes em regiões próximas às entradas, onde existe maior incidência de luz. Segundo este autor, o maior número de espécies nestes locais se devia ao grande número de espécies troglóxenas que vivem em estreita ligação com estas regiões.

4.5 Utilização das cavidades subterrâneas artificiais em planos de manejo

A utilização de cavidades artificiais para suprir a necessidade de abrigo para algumas espécies de morcegos já vem sendo estudado e utilizado em alguns países da Europa e da América do Norte. Certas espécies das famílias Vespertilionidae, Rhinolophidae e Molossidae, presentes em zonas temperadas, passaram a utilizar este tipo de cavidade até mesmo por longos períodos de hibernação (BELWOOD; WAUGH, 1991; KUNZ; FENTON, 2003). Entretanto, pouca atenção tem sido dada aos invertebrados que podem colonizar estes sistemas (FERREIRA, 2004; GNASPINI; TRAJANO, 1994; PECK, 1988).

Da mesma forma como foi apresentado por Ferreira (2004), neste trabalho também foi observada grande diversidade de espécies encontradas nos sistemas subterrâneos artificiais. Estes organismos são, principalmente, espécies de invertebrados ombrófilos, que necessitam se abrigar da luz durante o dia.

Segundo Ferreira (2004), a ação antrópica que dá origem às cavidades subterrâneas pode atuar como um importante mecanismo que facilitaria a permanência de muitas espécies onde o sistema epígeo foi intensamente impactado, tendo sua vegetação original removida, dando lugar a pastagens e a sistemas agrícolas.

Apesar de Ferreira (2004) ter apresentado algumas propostas básicas para a elaboração de ações de manejo com cavidades artificiais, o pequeno número de cavidades estudadas não permitiu a observação de alguns padrões gerais da comunidade como os encontrados no presente estudo. A ausência de

relação entre o tamanho das cavidades e o número de espécies aqui encontrado determina que não é necessária a construção de sistemas subterrâneos profundos. Pequenas cavidades, com até 20 m, já são habitats que apresentam tamanho suficiente para abrigar um grande número de espécies. Uma ação que pode gerar um benefício maior que a construção de cavidades com grandes projeções lineares seria o incremento de habitats para os invertebrados. Isto pode ser feito utilizando-se rochas dispostas aleatoriamente no piso das cavidades ou, então, por meio da construção de pequenos orifícios nas paredes, que podem ser colonizados.

Em curto prazo, pode ser interessante a introdução, de forma artificial, de recursos para o meio hipógeo recém-construído. Segundo Ferreira (com. pessoal), as fontes naturais de recurso para o meio hipógeo, tais como vertebrados e raízes, podem não acessar o meio subterrâneo de imediato, o que dificultaria a permanência da fauna nas cavidades recém-construídas. Em longo prazo, a revegetação de uma pequena área do entorno da entrada da cavidade poderia facilitar o acesso de recurso para o interior do meio hipógeo, além de servir de recurso para os invertebrados troglóxenos, garantindo a permanência das espécies no meio subterrâneo.

Outra forma de utilizar as cavidades artificiais para a manutenção da biodiversidade, principalmente de locais onde existem intensas pressões de mineração, poderia ser por meio da translocação de espécies.

Dois projetos de translocação de fauna de cavidades naturais para cavidades artificiais já foram realizados com o propósito de salvamento da fauna presente em cavernas que foram destruídas, seja pelo enchimento de reservatórios ou pela ação de mineradoras.

A primeira ação de translocação de espécies cavernícolas se deu nos Estados Unidos, na década de 1970 (ELLIOTT, 1981 e 2000). Entre 1976 e 1977-78, populações de opiliões troglóbios (*Banksula melones*) presentes em

duas cavernas que seriam destruídas pela construção de um reservatório foram translocadas, junto à parte da comunidade cavernícola, para uma mina desativada, localizada nas imediações das cavernas. Vinte anos após esta translocação, foi feita uma nova vistoria na mina, onde se constatou que a população do opilião ainda se encontrava estabelecida no local (ELLIOTT, 2000).

No Brasil, onde foi realizada a segunda translocação bem documentada, o propósito do projeto foi realocar a comunidade de uma caverna que seria suprimida por ação de uma mineradora, para uma galeria artificial construída exclusivamente para este propósito. O projeto foi realizado em 2004 e consistiu da translocação de toda a comunidade da caverna para a galeria artificial. Posteriormente, ao final de um monitoramento, concluído em 2006, pode ser evidenciado o sucesso da ação. Durante o monitoramento deste sistema, algumas espécies, inclusive organismos troglóbios, presentes no meio subterrâneo superficial do entorno, foram observadas colonizando a cavidade artificial (FERREIRA, com. pessoal).

A ideia de incremento do habitat, por meio da construção de cavidades artificiais subterrâneas, demonstra ser uma alternativa imediatamente aplicável. Mas, com conhecimento atual, ainda está distante a realidade de que projetos similares e ambiciosos, como de translocação de espécies, sejam uma alternativa corriqueira. Na perspectiva atual, projetos de translocação, sempre que forem necessários, devem ser feitos com cautela e de maneira ainda experimental.

5 CONCLUSÕES

As cavidades subterrâneas artificiais, apesar de possuírem uma gênese distinta, apresentam semelhanças com as cavernas. Em ambos os ambientes são encontradas as mesmas famílias de invertebrados. Além disso, a veiculação de recursos é feita por agentes físicos e biológicos como nos sistemas naturais.

A remoção da vegetação original e o cultivo de pastagens foi o impacto mais frequente no meio epígeo. Este é um problema recorrente e apontado, em outros estudos, como uma das principais ameaças à vida nos sistemas subterrâneos. O pisoteamento e a presença de equipamentos no interior de cavidades artificiais são impactos inerentes a estes sistemas. Tais sistemas já estão sujeitos a estas ações desde a sua construção. Somente galerias mais antigas, que passaram por processos de intemperismo, apresentam solo menos compactado e maior quantidade de micro-habitats.

A utilização de sistemas subterrâneos artificiais para a manutenção da fauna pode ser um alternativa viável para locais onde a vegetação original foi removida, não sendo necessária a construção de sistemas muito extensos, mas, ações, como a revegetação do entorno e o incremento de hábitat, podem facilitar e a manutenção de populações de espécies de invertebrados que venham a colonizar estes sistemas.

Como já observado por Ferreira (2004), a ação antrópica, mesmo que inconsciente e com propósitos primários que não são de conservação, é um mecanismo que atua garantindo a permanência de muitas espécies onde o sistema epígeo foi intensamente impactado.

REFERÊNCIAS

- AYRES, M.; AYRES-JÚNIOR, M.; AYRES, D. L.; SANTOS, A. A. **BIOESTAT**: Aplicações estatísticas nas áreas das ciências bio-médicas. Belém: Ong Mamiraua. 2007, 380 p.
- BELMOD, J.; WAUGH, R. Bats and mines: abandoned does not always mean empty. **Bats**, Austin, v. 9, n. 3, p.13-16, 1991.
- BICHUETTE, M. E.; SANTOS, F. H. S. Levantamento e dados ecológicos da fauna de invertebrados da gruta dos Paiva, Iporanga, SP. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 10, n. 1, p. 14-19, jan. 1998.
- CALDER, R. D.; BLEAKNEY, J. S. Microarthropod ecology of a porcupine-inhabited cave in Nova Scotia. **Ecology**, Duhram, v. 46, n. 6, p. 895-899, nov. 1995
- CORDEIRO, L. M. **Fauna cavernícola da Serra da Bodoquena: revisão bibliográfica e um estudo de ecologia de comunidades**. 2008. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande.
- CHRISTMAN, M. C.; CULVER, D. C. 2001. The relationship between cave biodiversity and available habitat. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 3, n. 28, p. 367-380, mar. 2001.
- CIDADES HISTÓRICAS BRASILEIRAS. **Ouro Preto**. 2007. Disponível em <www.cidadeshistoricas.art.br>. Acesso em 12 nov. 2007.
- CLARKE, K. R.; GORLEY, R. N. **PRIMER v5**: User Manual/Tutorial. Plymouth, Primer-E, 2001. 91 p.
- CULVER, D. C. **Cave Life**: Evolution and Ecology. 1. ed. London: Harvard University Press, 1982. 189 p.
- CULVER, D. C.; POULSON, T. L. Community boundaries: Faunal diversity around a cave entrance. **Annales Spéléologie**, Paris, n. 25, p. 853–60, 1970
- CULVER, D.C. Ecotones. In: CULVER, D. C.; WHILTE, W. B. (Eds.). **Encyclopaedia of Caves**. Amsterdam: Elsevier Academic Press. 2005. p. 206-208.

COKENDOLPHER, J.C.; REDDELL, J.R.; TAYLOR S.J.; KREJCA, J.K.; SUAREZ, A.V.; PEKINS, C.E. Further ants (hymenoptera: formicidae) from caves of Texas. Studies on the cave and endogean fauna of North America, Part V. **Texas Memorial Museum, Speleological Monographs**, Lubbock, n. 7, mar. 2009.

DESSEN, E. M. B.; ESTON, V. R.; SILVA, M. S.; TEMPERINI-BECK, M. T.; TRAJANO, E. Levantamento preliminar da fauna de cavernas de algumas regiões do Brasil. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 32, n. 6, p. 714-725, jun. 1980.

DORAM, N. E.; EBERHARD, S. M.; RICHARDSON, A. M. M.; SWAIN, R. Invertebrates biodiversity and conservation in Tasmanian caves. **Memoirs of the Museum of Victoria**, Victoria, n. 56, v. 2, p. 649-653, fev. 1997.

EDINGTON, M. Biological observation on the Ogbunike Cave System, Anambra State, Nigeria. **Studies in Speleology**, Buxton, n. 5, p. 31-38, jan. 1984.

ELLIOTT, W.R. Damming up the caves. **Caving International**, London, n. 10, p. 38-41, out. 1981.

ELLIOTT, W.R. Conservation of the North American cave and karst biota. In: WILKENS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHREYS W. F. (Eds.) **Subterranean ecosystems**. Amsterdam: Elsevier Press, 2000. p. 665-689.

FAUSTO, B. **História do Brasil**. 1. ed. São Paulo: Edusp, 2003. 650 p.

FERREIRA, R.L. 2004. **A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos**. 2004. 161 p. Tese (Doutorado em Ecologia e Manejo da Vida Silvestre) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FERREIRA, R. L. A vida subterrânea nos campos ferruginosos. **O Carste**, Belo Horizonte, v. 17, n. 3, p. 106-115, jul. 2005

FERREIRA, R. L.; MARTINS R. P. Diversity and distribution of spiders associated with bat guano piles in Morrinho Cave (Bahia State, Brazil). **Diversity and Distributions**, Oxford, v. 4, n. 5-6, p. 235-241, set./nov. 1998.

FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities with special reference to Brazilian caves.

Tropical Zoology, Firenze, v. 12, n. 2, p. 231-259, dez. 1999.

FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Mapping subterranean resources: The cave invertebrates distribution as indicator of food availability. **Revista Brasileira de Zoociências**, Juiz de Fora, v. 11, n. 2, p. 119-127, ago. 2009.

FERREIRA, R. L.; PROUS, X.; BERNARDI, L. F. O.; SOUZA-SILVA, M. Fauna subterrânea do Estado do Rio Grande do Norte: caracterização e impactos. 2010. **Revista Brasileira de Espeleologia**, Brasília, v. 1, n. 1, p. 25-51, dez. 2010

GNASPINI-NETO, P. Análise comparativa da fauna associada a depósitos de guano de morcegos cavernícolas no Brasil. Primeira aproximação. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 33, n. 2, p. 183-192, jun. 1989.

GIBERT, J.; DANIELPOL, D. L.; STANFORD, J. A. **Groundwater Ecology**. 1. ed. New York: Academic Press, 1994. 571 p.

HERNADES, F. A.; BERNARDI, L. F. O.; FERREIRA, R. L. Snout mites from caves in Brazil, with description of a new species (Acari: Trombidiformes: Bdellidae). **Journal of Natural History**, Londres, v. 45, n. 14/15, p. 799-812, mar., 2011.

HERRERA, F. F. Las comunidades de Arthropodes del guano de Guacharos en la Cueva del Guacharo, Venezuela. Boletim **Sociedad Venezolana de Espeleología**, n. 29, p. 39-46, 1995.

HOWARTH, F. G. 1983. Ecology of cave arthropods. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 28, p. 365-389, jan. 1983.

JASINSKA, E. J.; KNOTT, B.; McCOMB, A. J. Root mats in groundwater: a fauna-rich cave habitat. **Journal of North American Benthological Society**, Lawrence, v. 4, n. 15, p. 508-519, 1996.

JUBERTHIE, C.; DECU, V. Structure et diversité du domaine souterrain: particularités des habitats et adaptations des espèces. In: JUBERTHIE, C.; DECU, V. (Ed). **Encyclopedia Bioespeleologica**. Moulis, v. 7, p. 19-52, abr. 1994.

KUNZ, T. H.; FENTON, M. B. **Bat Ecology**. Chicago, University of Chicago Press, 2003. 779 p.

LOCKE, R. Bats at least: an artificial bat cave provides its worth. **Bats**, Austin, v. 21, n. 3, p. 6-7, 2003.

MACHADO, A. B. M.; FERREIRA, R. L. 2005. Invertebrados. In: DRUMMOND, G. M.; MARTINS, C. S.; MACHADO, A. B. M.; SEBAIO, F. A.; ANTONINI, Y (Eds.). **Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para a sua conservação**. Belo Horizonte, Fundação Biodiversitas, 2005. 222 p.

MAGURRAN, A. E. 2004. **Ecological diversity and its measurement**. London: Princeton University, 2004. 192 p.

MOULDS, T. The first Australian record of subterranean guano-collecting ants. **Helictite**, Parkville, v. 39, n. 1, p. 3-4, 2006.

PECK, S B. 1988. A review of the cave fauna of Canada, and the composition and ecology of the invertebrate fauna of cave and mines in Ontário. **Canadian Journal of Zoology**, Toronto, v. 66, n. 5, p. 1197-1213, maio 1988.

POULSON, T.L. 2005. Food Sources. CULVER, D. C.; WHILTE, W. B. (Eds.). **Encyclopaedia of Caves**. Amsterdam: Elsevier Academic Press. 2005. P. 255-264

PROUS, X.; FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P. Ecotone delimitation: epigean hypogean transition in caves ecosystem. *Austral Ecology*, Carlton, v. 29, n. 4, p. 374-382, ago. 2004.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing. **Vienna**. 2007. Disponível em www.R-project.org. 2007. Acesso em 10 out. 2010.

SARBU, S. M.; KANE, T. C.; KINKLE, B. K. A chemoautotrophically based cave ecosystem. **Science**, Cambridge, v. 272, n. 4, p. 1953-1955, dec. 1996.

SCHNEIDER, K; CULVER, D. C. Estimating subterranean species richness using intensive sampling and rarefaction curves in a high density cave region in west Virginia. **Journal of Cave and Karst Studies**, Huntsville, v. 66, n. 1, p. 39-45, abr. 2004.

SOUZA-SILVA M. **Influência da disponibilidade e consumo de detritos na composição e estrutura de mesofauna cavernícola.** 2003. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

TAYLOR, S. J.; KREJCA, J. K.; DENIGHT, M. L. Foraging range and habitat use of *Ceuthophilus secretus* (Orthoptera: Rhaphidophoridae), a key troglodite in Central Texas cave communities. **The American Midland Naturalist**, Indiana, n. 154, p. 97-114, nov. 2005

TUTTLE, M. D.; TAYLOR, D. **Bats and Mines.** Austin, Bat Conservation International, 1994. 42 p.

ZAMPAULO, R. A. **Diversidade de invertebrados cavernícolas na Província Espeleológica Arcos-Pains-Doresópolis (MG):** Subsídios para a determinação de áreas prioritárias para a conservação. 2010. 207 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Universidade Federal de Minas Gerais, Lavras.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis.** 3ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1996. 718 p.

ZEPPELINI-FILHO, D.; RIBEIRO, A. C.; GUILHERME, G. C.; FRACASSO, M. P. A.; PAVANI, M. M.; OLIVEIRA, O. M. P.; OLIVEIRA, S. A. D.; MARQUES, A. C. Faunistic survey of sandstone caves from Altinópolis region, São Paulo state, Brazil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, São Paulo, v. 43, n. 5, p. 93-99, maio 2003.

Apêndice A Cavernas subterrâneas artificiais estudadas, seus respectivos municípios e suas características físicas e biológicas. VMDP: valor médio de distribuição das populações; E: equitabilidade; H': diversidade; D: dominância, S: riqueza; EL: extensão linear; F: porcentagem de zona fótica presente na caverna, ICE: índice de complexidade ecológica

Município	Cavernas artificiais	VMDP	E	H'	D	S	EL	F	ICE
Alagoa	Companhia	2.052	0.501	1.475	0.3744	19	46	--	0.328
Alagoa	Garrafão	3.636	0.7583	2.651	0.1183	33	50	--	5.785
Ataleia	Veio Porto	3.450	0.5517	1.653	0.2659	20	----	--	1.226
Caeté	Morro Vermelho I	3.333	0.7975	2.534	0.1209	24	77	9.1	3.230
Caeté	Morro Vermelho II	3.850	0.4322	1.295	0.4751	20	60	8.3	0.937
Caeté	Morro Vermelho III	4.250	0.8074	2.288	0.1337	18	12	16.7	3.340
Caeté	Matarelli	3.714	0.6866	2.09	0.1939	21	62	11.3	2.387
Caraí	Br116	1.500	0.9184	1.91	0.169	8	8	75.0	0.124
Caraí	Dona Ana II	2.700	0.6972	2.089	0.1627	20	39	32.1	1.200
Caraí	Elton Jhon	2.750	0.6229	1.295	0.3608	8	8.5	100.0	0.191
Caraí	Jorginho	2.238	0.7167	2.182	0.1512	21	51	--	0.945
Caraí	Neguinho	2.312	0.8547	2.37	0.1322	16	51	41.2	0.906
Caraí	Noel I	1.550	0.7818	2.342	0.1389	20	60	45.0	0.497
Caraí	Noel II	3.500	0.7026	1.461	0.2827	8	38	55.3	0.395
Caraí	Olimpio	4.700	0.6511	1.499	0.3498	10	27	100.0	0.936
Caraí	Ponto do Marambaia I	3.826	0.5752	1.804	0.3227	23	41	34.1	2.066
Caraí	Ponto do Marambaia III	3.500	0.6975	1.123	0.3857	5	21.2	76.4	0.146
Caraí	Ponto do Marambaia VII	2.333	0.8212	1.804	0.1972	9	144	12.5	0.301
Caraí	Povoado Andorinhas	2.830	0.6941	1.117	0.4375	5	21	42.9	0.094
Caraí	Preto do Ze Cota I	3.736	0.6432	1.894	0.2338	19	25.5	15.7	1.794
Caraí	Preto do Zé Cota II	2.642	0.3383	0.9162	0.5901	15	56	12.5	0.166
Caraí	Preto do Zé Cota III	5.500	0.4354	0.7801	0.5397	5	23	34.8	0.140
Caraí	Valdivino I	0.733	0.5864	1.588	0.3264	15	86	45.3	0.038
Mariana	Água	4.333	0.9241	1.656	0.207	6	70	17.1	0.582
Mariana	Cachoeira	2.875	0.6417	1.779	0.3324	16	30	57.3	0.790

Apêndice A, continuação

Mariana	Canelas III	3.555	0.5796	1.274	0.3705	9	21	95.2	0.348
Mariana	Perereca Anoréxica	2.285	0.4677	1.234	0.2797	15	60	31.7	0.237
Mariana	Cavalo	2.545	0.7175	1.72	0.2514	11	91	--	0.398
Mariana	Canela Casa	1.810	0.6881	2.268	0.1739	27	48	53.1	0.858
Mariana	Conectada	2.640	0.8331	2.199	0.1413	14	68	23.5	0.890
Mariana	Meio do Mato	3.666	0.8508	2.114	0.1653	12	18	66.7	1.360
Mariana	Poço Sem Fundo	2.142	0.8459	2.232	0.1352	14	98	13.3	0.604
Mariana	Sem Noção	2.560	0.6479	2.086	0.192	25	221	12.2	1.344
Mariana	Canela Branca	1.550	0.5581	1.226	0.4835	9	68	20.6	0.061
Mateus Leme	Aqueduto I	2.400	0.8491	2.888	0.08035	30	10.9	--	2.718
Mateus Leme	Aqueduto II	1.800	0.9109	2.729	0.08988	20	7.5	--	0.910
Mateus Leme	Beija Flor	3.416	0.8028	2.877	0.09972	36	18.9	--	6.558
Mateus Leme	Calçamento	2.470	0.637	2.246	0.1719	34	11.45	--	1.974
Medina	Fazenda do Sol I	1.220	0.5404	1.187	0.4853	9	27	33.3	0.036
Medina	Fazenda do Sol II	2.500	0.9237	1.921	0.17	8	38	78.9	0.348
Medina	Fazenda do Sol III	1.909	0.7458	1.788	0.2147	11	30	30.0	0.242
Medina	Fazenda do Sol IV	1.521	0.6024	1.889	0.316	23	25	100.0	0.358
Medina	Fazenda do Sol V	3.647	0.6414	1.817	0.26	17	27	37.0	1.408
Medina	Fazenda do Sol VI	2.000	0.6645	1.842	0.2278	16	28	67.9	0.410
Medina	Fazenda do Sol VII	2.272	0.5545	1.33	0.4113	11	53	28.3	0.189
Medina	Fazenda do Sol VIII	2.521	0.6912	2.167	0.177	23	53	24.5	1.295
Medina	Fazenda Serra Azul I	1.375	0.5172	1.434	0.3578	16	14	78.6	0.117
Medina	Fazenda Serra Azul II	1.933	0.109	0.2876	0.902	15	74	18.9	0.009
Medina	Bloco I	3.636	0.7224	1.732	0.2584	11	126	24.6	0.823
Medina	Bloco II	2.428	0.6009	1.586	0.2629	14	56	28.6	0.391
Medina	Bloco III	2.333	0.619	1.789	0.2232	18	24	100.0	0.592
Novo Oriente de Minas	Bufinha I	2.090	0.6606	2.31	0.1632	33	----	--	1.451
Novo Oriente de Minas	Bufinha II	1.857	0.8769	2.314	0.1288	14	----	--	0.488
Novo Oriente de Minas	Poldo B.	2.666	0.698	2.125	0.176	21	----	--	1.271

Apêndice A, continuação

Novo Oriente de Minas	Estrada	2.437	0.74	2.565	0.1099	32	----	--	2.358
Novo Oriente de Minas	Joaquim de Souza	3.217	0.535	1.678	0.3598	23	----	--	1.263
Novo Oriente de Minas	Toninho Walter	3.000	0.6191	1.789	0.2657	18	----	--	0.978
Ouro Preto	Volta do Córrego	1.890	0.807	2.338	0.1406	16	22	40.9	0.540
Ouro Preto	Vila Rica	1.875	0.7498	1.559	0.2909	8	96	3.8	0.129
Ouro Preto	Chico Rei	3.357	0.7532	2.04	0.1822	15	167	8.4	1.326
Ouro Preto	Mina Velha	4.400	0.6099	1.609	0.3174	14	150	16.0	1.324
Padre Paraíso	Domingos Pastel I	4.500	0.5885	1.355	0.3353	10	37	56.8	0.701
Padre Paraíso	Domingos Pastel II	3.110	0.5565	1.223	0.3684	9	42	28.6	0.245
Padre Paraíso	Domingos Pastel III	2.750	0.7394	1.837	0.1951	12	34.5	33.3	0.578
Padre Paraíso	Domingos Pastel IV	3.000	0.6629	1.457	0.312	9	57	28.1	0.324
Padre Paraíso	Domingos Pastel VI	1.818	0.61	1.463	0.2996	11	48.5	15.5	0.147
Padre Paraíso	Domingos Pastel VII	4.117	0.4564	1.293	0.4181	17	62	30.6	0.909
Padre Paraíso	Domingos Pastel VIII	3.000	0.4493	1.077	0.4681	11	47	27.7	0.217
Padre Paraíso	Domingos Pastel IX	1.944	0.7698	2.225	0.1267	18	101	42.6	0.635
Padre Paraíso	Domingos Pastel X	2.333	0.8801	1.934	0.1837	9	47.3	21.8	0.346
Padre Paraíso	João I	3.000	0.4829	1.274	0.4848	14	50	44.0	0.386
Padre Paraíso	João II	4.000	0.508	1.116	0.4476	9	39	25.6	0.338
Padre Paraíso	João III	4.111	0.7773	1.708	0.2138	9	26	38.5	0.837
Padre Paraíso	João IV	4.375	0.8446	1.756	0.1916	8	9.2	78.3	0.891
Padre Paraíso	João V	2.666	0.4984	1.095	0.4264	9	21.2	24.5	0.145
Padre Paraíso	João VI	2.307	0.6589	1.69	0.2582	13	17.4	100.0	0.373
Padre Paraíso	Valdo Silva I	3.750	0.7134	1.978	0.1884	16	34	38.2	1.660
Padre Paraíso	Valdo Silva II	3.222	0.4033	0.8861	0.5889	9	249	75.5	0.138
Padre Paraíso	Wanderley I	2.500	0.7295	2.255	0.1496	22	22.5	46.7	1.319
Padre Paraíso	Wanderley II	2.000	0.8023	1.924	0.194	11	18	38.9	0.307
Padre Paraíso	Meninos I	3.800	0.6093	1.65	0.2924	15	42	23.8	1.112
Padre Paraíso	Meninos II	2.810	0.5859	1.546	0.3223	14	29.8	52.3	0.498
Padre Paraíso	Meninos III	3.500	0.615	1.279	0.4372	8	36	44.4	0.302

Apêndice A, continuação

Padre Paraíso	Túnel da Cibele I	1.857	0.8781	2.673	0.08873	21	15.3	100.0	0.976
Padre Paraíso	Cibele II	3.875	0.6779	1.41	0.3243	8	20.4	46.1	0.450
Padre Paraíso	Cibele III	5.833	0.7356	1.318	0.3368	6	80	13.8	0.669
Padre Paraíso	Cibele IV	2.933	0.8253	2.235	0.1372	15	13	100.0	1.216
Padre Paraíso	Fazenda Cilindro I	3.260	0.7841	2.266	0.1598	18	10.2	100.0	1.853
Padre Paraíso	Fazenda Cilindro II	3.857	0.8821	1.716	0.204	7	8.9	74.2	0.579
Padre Paraíso	Fazenda Cilindro III	----	0.5724	0.9212	0.5029	5	4	100.0	--
Padre Paraíso	Fazenda Cilindro IV	----	0.4355	0.8474	0.5525	7	1.75	100.0	--
Padre Paraíso	Hotel Entre Vales I	6.222	0.8219	1.806	0.2148	9	12.5	100.0	2.143
Padre Paraíso	Hotel Entre Vales II	2.333	0.6863	0.7921	0.2079	15	48	25.0	0.532
São José da Safira	Chιά Donizete I	2.086	0.4166	1.431	0.4497	31	67	--	0.521
São José da Safira	Chιά Donizete II	2.850	0.7152	2.143	0.1721	20	68	--	1.407
São José da Safira	Chιά Donizete III	4.454	0.6463	1.55	0.3213	11	15.5	--	0.989
São José da Safira	Milto Godinho I	2.280	0.4422	1.424	0.4219	25	33	15.2	0.497
São José da Safira	Milto Godinho II	3.000	0.6431	1.481	0.3461	10	12	58.3	0.372
São José da Safira	Milto Godinho III	3.280	0.6773	2.18	0.1895	25	52	17.3	2.411
São José da Safira	Milto Godinho IV	2.777	0.6895	1.515	0.3051	9	102	16.7	0.300
São José da Safira	Milto Godinho IX	2.062	0.721	1.999	0.2323	16	12	100.0	0.513
São José da Safira	Milto Godinho V	4.571	0.5054	0.9834	0.543	7	30	53.3	0.267
São José da Safira	Milto Godinho VI	2.300	0.7263	2.139	0.1312	20	38	39.5	0.945
São José da Safira	Milto Godinho VII	3.000	0.4799	1.36	0.4228	17	37	32.4	0.533
São José da Safira	Milto Godinho VIII	2.357	0.5923	1.563	0.2795	14	84	23.8	0.358
São José da Safira	Milto Godinho X	1.882	0.729	2.065	0.1619	17	67.6	26.0	0.484
São José da Safira	Milto Godinho XI	2.555	0.7025	1.544	0.2713	9	31	35.5	0.264
São José da Safira	Milto Godinho XII	3.083	0.6306	1.567	0.2699	12	114.3	14.3	0.528
São José da Safira	Milto Godinho XIII	4.000	0.726	1.168	0.3395	5	48.5	17.5	0.206
Vazante	Vmetais	4.125	0.58	2.01	0.2132	32	500	0.0	4.150

Apêndice B Ficha de caracterização das galerias artificiais de Minas Gerais:
Localização/caracterização física

MINA:	DATA:
FAZENDA:	MUNICÍPIO:
COORDENADAS GPS (UTM):	
EXTENSÃO DA ÁREA OBSERVADA:	
IDADE DE CONSTRUÇÃO:	
TEMPO EM QUE ESTÁ DESATIVADA:	
LOCALIZAÇÃO TOPOGRÁFICA:	
Topo <input type="checkbox"/> Encosta superior <input type="checkbox"/> Encosta inferior <input type="checkbox"/> Base <input type="checkbox"/>	
INCLINAÇÃO GERAL:	
Plano (0° a 4°) <input type="checkbox"/> Suave (4° a 8°) <input type="checkbox"/> Média (8° a 30°) <input type="checkbox"/>	
Forte (30° a 60°) <input type="checkbox"/> Vertical (>50°) <input type="checkbox"/>	
DIMENSÃO E FORMA DA(S) ENTRADA(S):	
CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE TERRESTRE	
Temperatura:	Umidade:
Luminosidade:	
UMIDADE: Seco <input type="checkbox"/> Médio <input type="checkbox"/> Saturado <input type="checkbox"/> Inundado <input type="checkbox"/>	
DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TRÓFICAS DA CAVIDADE:	

Ficha de caracterização das galerias artificiais de Minas Gerais
Usos e impactos ambientais

MINA:	DATA:
-------	-------

USO DO ENTORNO (~250m)

Agricultura	<input type="checkbox"/>	Pastagem	<input type="checkbox"/>	Estudo científico	<input type="checkbox"/>
Irrigação	<input type="checkbox"/>	Equipamentos	<input type="checkbox"/>	Atividade extrativista	<input type="checkbox"/>
Edificações	<input type="checkbox"/>				
Outros:					

USO DO INTERIOR

Histórico	Grafismo	<input type="checkbox"/>	Sedimento cultural (potencial)	<input type="checkbox"/>
	Manifestação religiosa	<input type="checkbox"/>		
Extração de qual tipo mineral:				
Outros:				
Atual	Visitação turística	<input type="checkbox"/>	Estudo científico	<input type="checkbox"/>
	Equipamentos	<input type="checkbox"/>	Curral	<input type="checkbox"/>
	Atividade extrativista	<input type="checkbox"/>		
Outros:				

IMPACTOS REAIS NA ÁREA DO ENTORNO (~250m)

Lixo / entulho	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Área de queimada	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
Solo desnudo	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Vestígios de fogo na vegetação	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
Trilha	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Desmatamento	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
Processos erosivos	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Corte seletivo de madeira	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
Assoreamento	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Atividade extrativista	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
Outros:									

IMPACTOS REAIS NO INTERIOR DA MINA

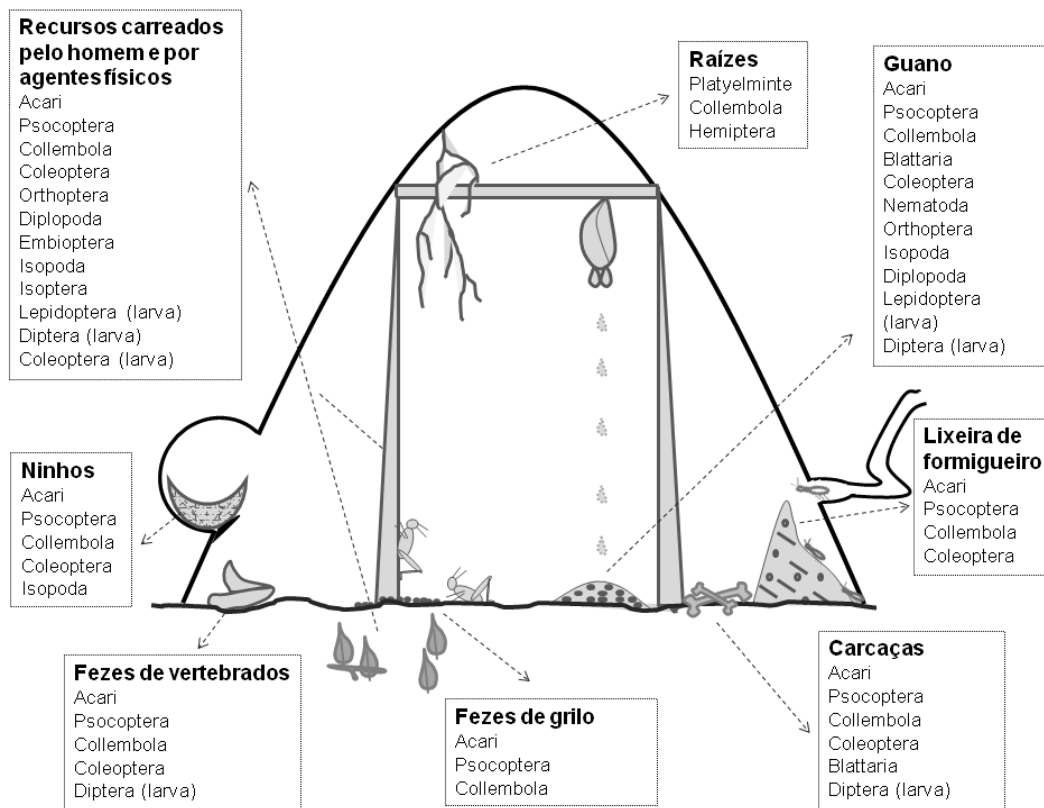
S=Significativo M=Médio D=Desprezível A=Ausente

Construções	S	<input type="checkbox"/>	M	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>	A	<input type="checkbox"/>	Pichações	S	<input type="checkbox"/>	M	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>	A	<input type="checkbox"/>
Lixo	S	<input type="checkbox"/>	M	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>	A	<input type="checkbox"/>	Pisoteamento	S	<input type="checkbox"/>	M	<input type="checkbox"/>	D	<input type="checkbox"/>	A	<input type="checkbox"/>
Outros:																	

IMPACTOS POTENCIAIS

	ENTORNO				INTERIOR			
Garimpo/mineração (atual)	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
Exploração de recursos hídricos	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
Poluição do curso d'água	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
Visitação intensa	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
Turismo	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>	Sim	<input type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
Outros:								

Apêndice C Figura esquemática com a representação dos principais recursos e os invertebrados detritívoros associados a eles



SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1

**EFEITOS DO USO TURÍSTICO SOBRE CAVIDADES
SUBTERRÂNEAS ARTIFICIAIS: SUBSÍDIOS PARA O USO
ANTRÓPICO DE SISTEMAS SUBTERRÂNEOS**

O presente artigo foi redigido conforme as normas da revista científica
“Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas”, ISSN: 1983-473X (versão aceita
para a publicação)

Resumo

O turismo tem se mostrado uma alternativa viável para a manutenção do patrimônio natural. Entretanto, em alguns ecossistemas, tais como os ambientes subterrâneos, ainda são necessários muitos estudos para tornar esta atividade pouco impactante. O objetivo do presente trabalho foi avaliar as comunidades biológicas (riqueza, diversidade, equitabilidade, similaridade e complexidade ecológica) e as alterações que podem vir a ocorrer nas condições ambientais (temperatura e umidade relativa) advindas do turismo no interior de cavidades subterrâneas artificiais. A iluminação elétrica do tipo incandescente determinou alterações na temperatura e na umidade relativa de minas turísticas. No entanto, as comunidades não apresentaram mudanças significativas na estrutura, uma vez que aquelas presentes em cavidades turísticas se mostram muito semelhantes àquelas presentes em minas não turísticas. Embora estes estudos ainda sejam incipientes no país, os mesmos já demonstram a urgente necessidade de criação de propostas de uso turístico que causem o menor impacto possível aos ambientes subterrâneos quando da instalação do uso turístico.

Palavras Chave: Minas subterrâneas, Conservação, Turismo, Invertebrados, Cavernas.

Abstract

Tourism has shown to be a viable alternative for the maintenance of the natural patrimony. However, in some ecosystems such as the subterranean environments, many studies are still necessary studies to make this a low impact activity. The objective of the present work was to evaluate the biological community (richness, diversity, evenness equitabilidade, similarity and ecological complexity), and the alterations that can occur in the environmental conditions (temperature and humidity) stemming from tourism inside artificial subterranean cavities. The electric illumination of the incandescent type determined alterations in the temperature and humidity of tourist mines. However, the communities did not present significant changes in the structure, because those present in tourist cavities are shown very similar to those present in non-tourist mines. Although these studies are still incipient in the country, they already demonstrate the urgent need for the creation of models for tourist use that cause the least possible impact to the subterranean environments when given over to the installation of tourist use.

Keywords: Subterranean mines, Conservation, Tourism, Invertebrates, Caves.

1 INTRODUÇÃO

As cavidades naturais subterrâneas chamam a atenção do homem desde tempos pretéritos, quando as regiões de entrada eram utilizadas para guardar alimentos, abrigo e/ou moradia. Ainda hoje, as cavernas compreendem ambientes nos quais são desenvolvidas diversas atividades, principalmente científicas, econômicas, de lazer e/ou culturais. Do ponto de vista turístico, estes ambientes podem ser considerados de grande potencial econômico (BOGGIANI et al., 2007).

Apesar da importância dos ambientes subterrâneos para o uso antrópico, existem inúmeros exemplos de uso inadequado, sem a elaboração prévia de planos de manejo, gerando impactos e degradações irreversíveis nas condições físicas e biológicas destes sistemas. Como exemplos podem ser citadas a Gruta de Maquiné (Cordisburgo, MG), a Caverna do Diabo (Eldorado, SP), a Gruta do Rei do Mato (Sete Lagoas, MG) e a gruta da Lapinha (Lagoa Santa, MG). Tais cavernas foram exploradas durante décadas sem o adequado manejo e, conseqüentemente, sofreram alterações irreversíveis, principalmente em seus componentes físicos (FERREIRA, 2004; BOGGIANI et al., 2007).

As cavernas turísticas no Brasil recebem, anualmente, números consideráveis de visitantes. As cavernas inseridas no Parque Estadual Turístico do Alto da Ribeira, em São Paulo, a Gruta Lago Azul, em Mato Grosso do Sul e a Gruta de Ubajara, no Ceará, recebem milhares de turistas, que causam uma série de impactos a estes patrimônios naturais (VERÍSSIMO, 2005; BOGGIANI, 2007; LOBO, 2008). Entretanto, poucos estudos têm focado esta situação, a fim de reverter os impactos causados e prevenir futuras ações desordenadas que possam causar danos aos sistemas subterrâneos (LINO, 2001; VERÍSSIMO, 2005; LOBO, 2006a; LOBO, 2006b; BOGGIANI, 2007; LOBO, 2008, LOBO et al., 2009; FERREIRA, 2004; FERREIRA et al., 2009).

Em algumas situações, o aperfeiçoamento ou a elaboração de critérios básicos para o manejo de ecossistemas podem ser feitos por meio de experimentações (FERNÁNDEZ-CORTÉS et al., 2006). Entretanto, em cavernas, algumas ações podem causar danos irreversíveis, o que torna desaconselhável a realização de experimentos visando o melhor estabelecimento do turismo. No entanto, as cavidades subterrâneas artificiais apresentam condições ambientais e biológicas muito semelhantes às encontradas em cavernas (PECK, 1988; FERREIRA, 2004). Dessa forma, estes sistemas podem compreender excelentes locais para se observar os impactos em ambientes subterrâneos acarretados pelo turismo. No intuito de compreender os impactos causados pelo turismo nos ambientes subterrâneos, o presente estudo foi realizado com os seguintes objetivos: avaliar parâmetros da estrutura das comunidades biológicas (riqueza, diversidade, equitabilidade, similaridade e complexidade ecológica) e as alterações nas condições ambientais (temperatura e umidade relativa) decorrentes de modificações causadas pelo turismo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de estudo

Os municípios de Ouro Preto e Mariana são alvos de exploração mineral desde o período do Brasil colônia (FAUSTO, 2003). Algumas cavidades escavadas durante este período são consideradas, atualmente, importantes pontos turísticos do estado de Minas Gerais (GUIMARÃES et al., 2009). Nestes municípios foram localizadas diversas cavidades artificiais, que apresentam uso atual, seja ligado ao turismo histórico ou à exploração do minério. Além disso, existem centenas de cavidades abandonadas, onde não ocorrem visitas de cunho

turístico. Algumas dessas cavidades estão sujeitas apenas a explorações esporádicas, realizadas por curiosos e moradores locais.

O presente trabalho foi realizado em quinze cavidades, doze delas não eram turísticas, sendo onze situadas no município de Mariana e uma no município de Ouro Preto. Outras três cavidades turísticas inventariadas se localizam em Ouro Preto (Figura 1) (Tabela 1).

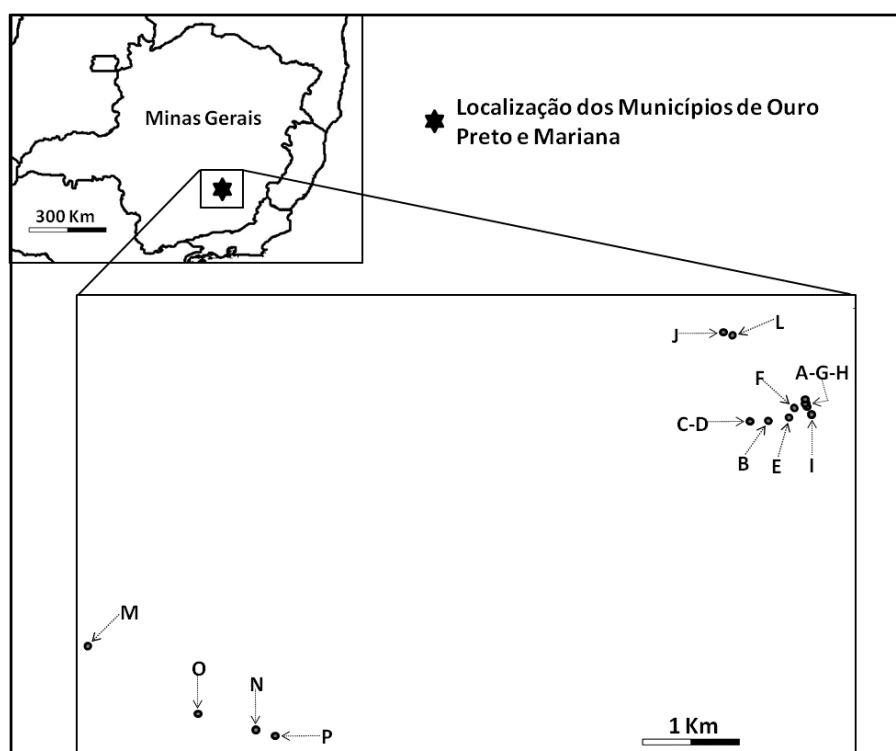


Figura 1 Localização das cavidades onde foi desenvolvido o estudo em questão. Cada cavidade foi representada por uma letra previamente apresentada na Tabela 1

Tabela 1 Cavidades subterrâneas artificiais e suas localizações geográficas

	Data de coleta	Cavidade	Município	Extensão amostrada	Localização geográfica
A	01/05/2009	Casa	Mariana	48 m	E662883 N7748789
B	02/05/2009	Cavalo	Mariana	91 m	E662516 N7748549
C	02/05/2009	Córrego Canelas III	Mariana	21 m	E662321 N7748551
D	02/05/2009	Perereca Anorexia	Mariana	60 m	E662314 N7748557
E	02/05/2009	Água	Mariana	70 m	E662726 N7748591
F	02/05/2009	Canela Branca	Mariana	68 m	E662777 N7748712
G	11/06/2009	Canela Sem Noção	Mariana	221 m	E662890 N7748749
H	11/06/2009	Conectada	Mariana	68 m	E662899 N7748731
I	11/06/2009	Poço Sem Fundo	Mariana	98 m	E662942 N7748641
J	12/06/2009	Meio do Mato	Mariana	18 m	E662039 N7749601
L	12/06/2009	Cachoeira	Mariana	30 m	E662133 N7749568
M	13/06/2009	Volta do Córrego	Ouro Preto	22 m	E655469 N7745893
N	28/11/2009	Vila Rica*	Ouro Preto	96 m	E657216 N7744909
O	27/11/2009	Chico Rei*	Ouro Preto	167 m	E656608 N7745079
P	29/11/2009	Velha*	Ouro Preto	150 m	E657406 N7744817

N^o: cada cavidade recebeu uma letra de referência para que seja possível visualizar sua localização no mapa representativo da Figura 1. *cavidades turísticas

2.2 Procedimentos

Para o estudo, foi realizado o inventário biológico da fauna de invertebrados. Além disso, mediram-se a temperatura e a umidade relativa no interior de cada cavidade, em sua porção mediana.

Nas cavidades turísticas também foi realizado o monitoramento da temperatura e da umidade relativa, após 30 minutos de influência da iluminação elétrica sobre o meio hipógeo.

2.2.1 Inventário biológico

Os invertebrados terrestres foram coletados em todos os biótopos potenciais (e.g. matéria orgânica vegetal, depósitos de guano, espaços sob rochas e locais úmidos) existentes em cada uma das cavidades (SHARRATT et al., 2000; FERREIRA, 2004). Cada organismo observado teve sua posição registrada em um mapa da cavidade. Dessa forma, ao final de cada coleta, foram geradas informações concernentes à riqueza de espécies, às abundâncias e à distribuição espacial de cada população presente nos sistemas (FERREIRA, 2004). As características físicas dos micro-habitats onde os espécimes foram observados e capturados foram registradas em um mapa esquemático da cavidade. Todos os organismos foram identificados até o nível taxonômico possível e separados em morfoespécies.

2.2.2 Caracterização dos recursos presentes no meio hipógeo

A caracterização dos recursos presentes no interior das galerias artificiais foi realizada concomitantemente às coletas de invertebrados. Para isso, todos os tipos de recursos alimentares presentes nos sistemas foram qualificados.

2.2.3 Caracterização e monitoramento da temperatura, umidade relativa e luminosidade

A temperatura e a umidade relativa foram medidas na porção mediana de cada uma das cavidades antes da realização das coletas de invertebrados e de quaisquer atividades turísticas.

A luminosidade emitida pelas lâmpadas elétricas presentes no interior das cavidades turísticas foi medida com o auxílio de um luxímetro posicionado a

1,20 m do piso, com a célula receptora voltada para cima. Para tal, todo o trajeto iluminado de cada sistema foi percorrido, tendo sido anotados somente os máximos e os mínimos valores de luminosidade encontrados em cada cavidade.

O monitoramento das variações na temperatura e umidade relativa foi realizado nas cavidades turísticas por meio de uma nova medida realizada 30 minutos após o início do funcionamento do sistema de iluminação elétrica. Todas as medidas de temperatura e umidade relativa foram tomadas utilizando-se um termo-higrômetro (que opera em uma faixa de -5° a 70°C e de umidade de 20% a 99%, com precisão de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ e $\pm 2\%$) e, para as medidas de luminosidade, foi utilizado um luxímetro (que opera em uma faixa de 0 a 100.000 *lm*, com precisão de $\pm 4\%$).

2.2.4 Caracterização das alterações antrópicas

Para a determinação de impactos foram consideradas todas aquelas alterações secundárias, feitas a fim de se adaptar os sistemas ao desenvolvimento de atividades ligadas ao turismo. Além disso, todo material recente deixado nas cavidades (como lixo) foi considerado um impacto potencial.

Foi analisada a presença de organismos fotossintetizantes em regiões originalmente afóticas das minas, proporcionados pela iluminação artificial instalada nessas cavidades. Para a determinação da zona afótica de cada cavidade, o luxímetro foi posicionado a 1,20 m do piso, com a célula receptora voltada para a entrada. Posteriormente, as luzes artificiais foram desligadas e o aparelho foi movimentado a partir da região de entrada até a porção mais interior do sistema subterrâneo, sendo o local onde foi registrado o valor zero pelo luxímetro considerado o ponto de transição entre a região fótica e afótica. A partir deste ponto, a cavidade foi vistoriada em direção ao fundo, no intuito de se

encontrar organismos fotossintetizantes que só poderiam estar crescendo em virtude da presença de luz artificial proveniente da iluminação elétrica.

2.3. Análise dos dados

A riqueza de espécies foi obtida por meio do somatório do total de espécies encontradas.

ZAMPAULO (2009) propôs um método de determinação de espécies acidentais em cavernas. Segundo este autor, em uma dada região, espécies representadas por apenas um indivíduo encontrado em uma única cavidade podem ser definidas como acidentais (excetuando-se, obviamente, espécies troglóbias). Dessa forma, todas as análises do presente estudo foram realizadas em dois “cenários”: um considerando todas as espécies encontradas e outro excluindo-se as “acidentais”. Tal comparação teve como objetivo determinar a importância relativa de espécies acidentais (ou eventualmente raras) na estrutura das minas subterrâneas na área de estudo.

Os cálculos de diversidade e equitabilidade foram feitos por meio do índice de Shannon-Wiener (MAGURRAM, 2004). A similaridade entre os sistemas foi obtida utilizando-se o índice de Jaccard, por meio de matriz de presença e ausência, sendo representada por meio de um dendrograma de similaridade. Finalmente, foram construídos gráficos de escalonamento multidimensional não métrico (n-MDS) por meio do programa Past (versão 2.03) (HAMMER et al., 2003).

Os valores riqueza, diversidade, equitabilidade, complexidade ecológica foram comparados por meio de um teste de mediana (Kruskal-Wallis).

A distância geográfica e a similaridade biológica existente entre as cavidades foram correlacionadas por meio de uma regressão linear simples.

Para estes cálculos, foram utilizados os programas Past (versão 2.03) e BioEstat (versão 5.0) (AYRES et al., 2007).

Os cálculos de complexidade ecológica foram feitos por meio do índice de Complexidade Ecológica de Cavernas, elaborado por FERREIRA (2004).

3 RESULTADOS

Foram encontradas 90 espécies pertencentes a 21 ordens e, pelo menos, 45 famílias. Tais organismos compreendem os seguintes taxa: Mesostigmata, Trombidiformes, Pseudoescorpiones, Araneae, Opiliones, Polydesmida, Spirostreptida, Isopoda, Blattaria, Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Psocoptera, Orthoptera, Isoptera, Collembola, Shymphyla, Annelida e Platyhelminthes. Nenhum organismo com características troglomórficas foi encontrado (Apêndice A e B).

Do total de espécies encontradas, 79 foram observadas em cavidades não turísticas e 25 em cavidades turísticas. Quinze espécies (16,6%) foram encontradas em ambos os sistemas e 10 foram exclusivas de cavidades turísticas. Grande parte das espécies (60% ou 54 espécies) foi encontrada em apenas uma cavidade (Figuras 2 e 3).

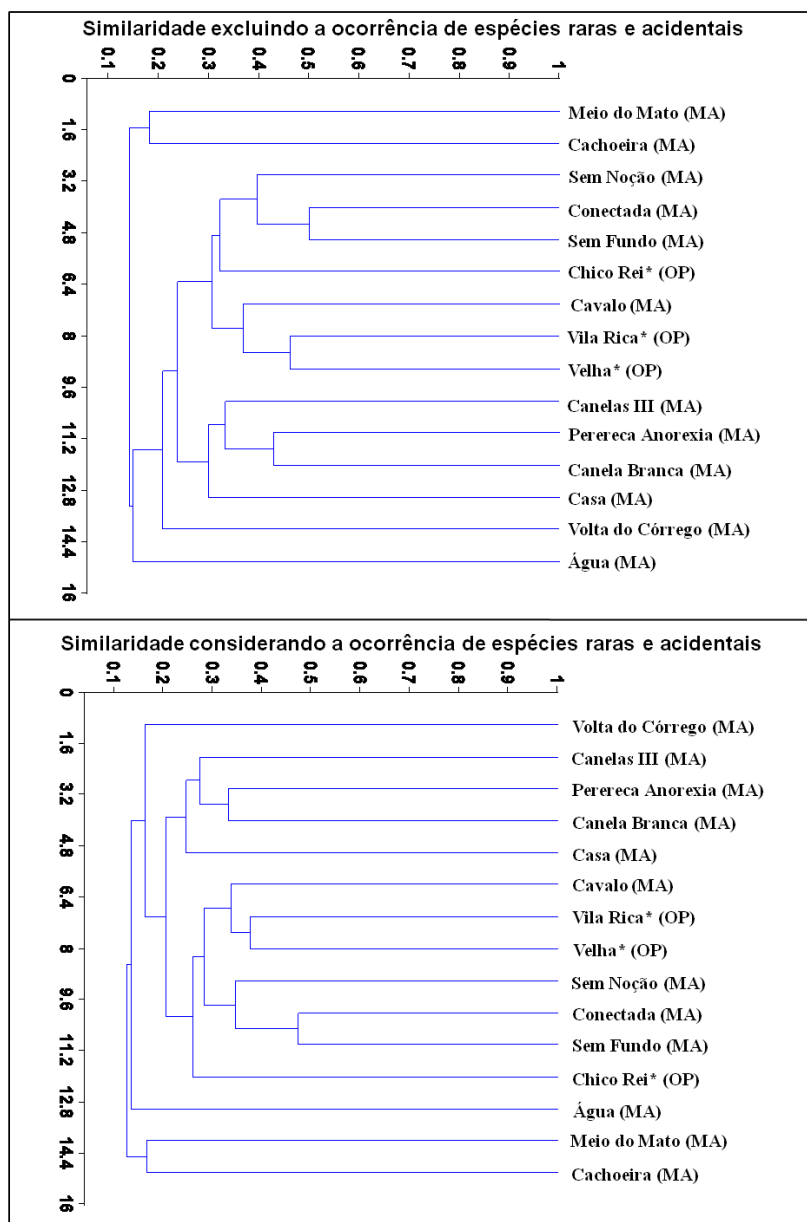


Figura 2 Dendrograma de similaridade entre a fauna das cavidades turísticas* (Chico Rei, Mina Velha e a Vila Rica) e não turísticas presentes nos municípios de Ouro Preto (OP) e Mariana (MA)

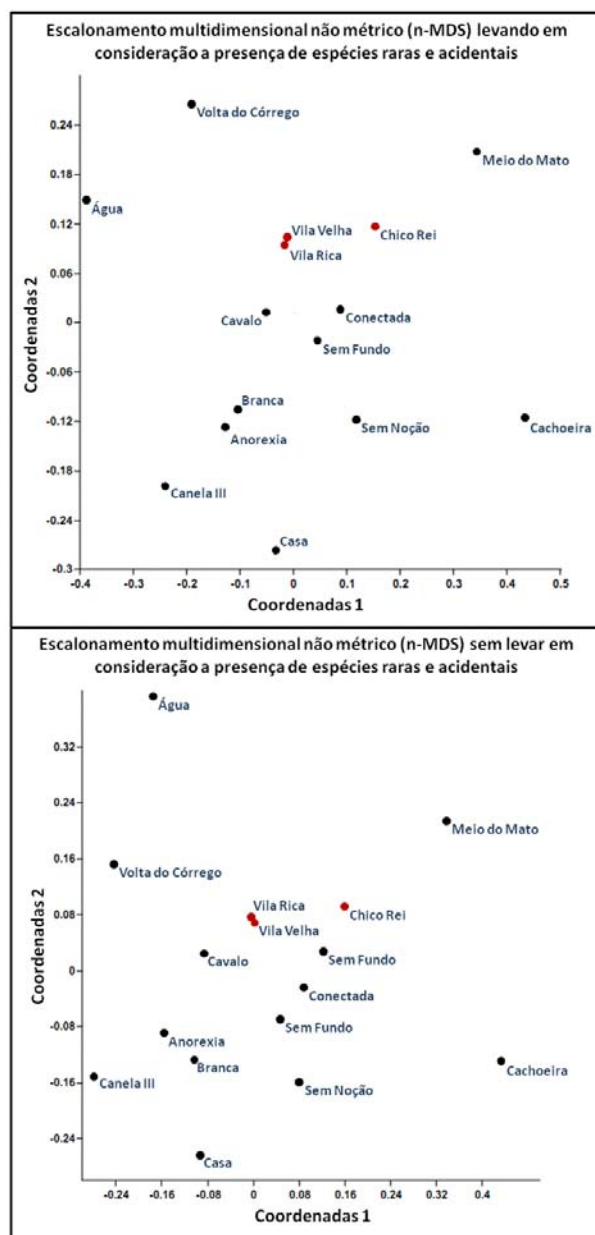


Figura 3 Escalonamento multidimensional não métrico (n-MDS) apresentando a similaridade entre as cavidades subterrâneas artificiais estudadas no município de Ouro Preto e Mariana. As cavidades que apresentam o uso turístico estão ressaltadas por um círculo vermelho

Dentre as espécies inventariadas, 24 foram consideradas acidentais. Deste total, 19 espécies foram observadas em cavidades não turísticas e 5 em cavidades turísticas. Dessa forma, metade das espécies observadas exclusivamente em cavidades turísticas foi considerada acidental.

Excluindo-se os organismos acidentais, observa-se um total de 66 espécies encontradas em ambos os sistemas, elevando para 22,72% a porcentagem de espécies comuns entre as cavidades turísticas e não turísticas (Figura 4).

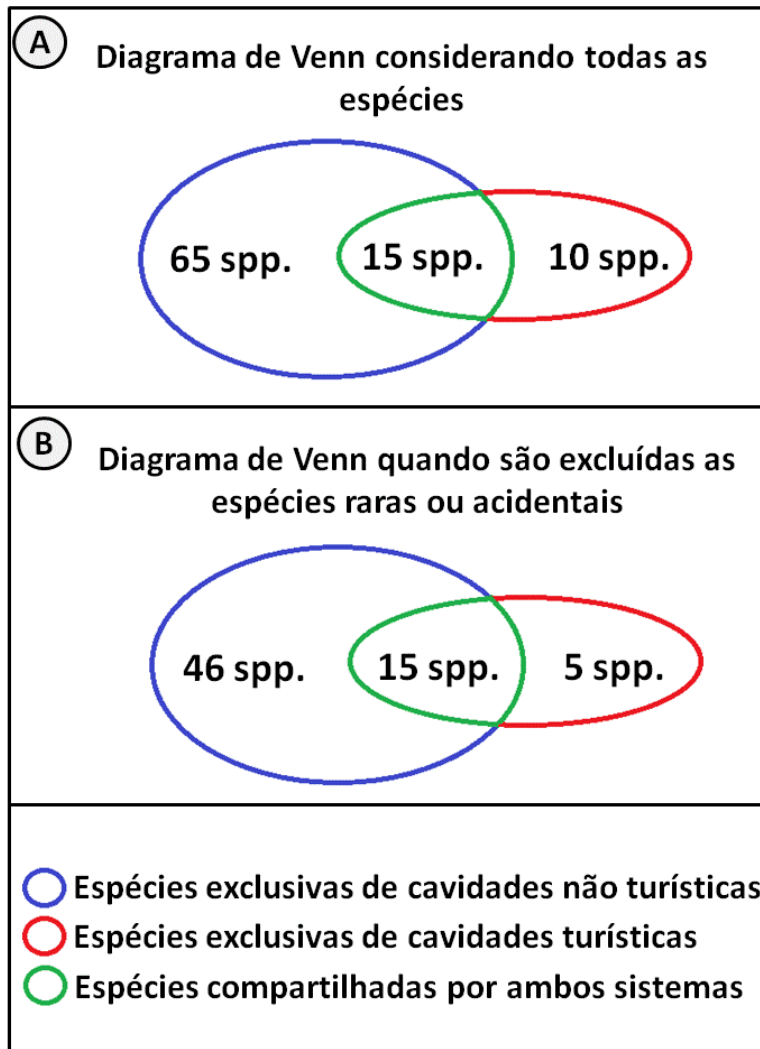


Figura 4 Diagrama de Venn representando o número de espécies compartilhadas e únicas em cada um dos dois tipos de sistemas. A, quando são consideradas todas as espécies e B, quando são consideradas somente as espécies que não apresentem um único indivíduo em uma única cavidade

O dendrograma de similaridade e a análise de escalonamento multidimensional não métrica não mostraram a existência de grupos distintos referentes às minas turísticas ou não turísticas (Figuras 2 e 3). Além disso, não foi encontrada uma relação significativa entre os valores de similaridade e distância geográfica das cavidades.

Os valores de riqueza, riqueza relativa, equitabilidade, diversidade e complexidade ecológica foram bastante variáveis (considerando-se o total de espécies presentes em cada cavidade e somente as espécies não acidentais) (Tabela 2). Não foram encontradas diferenças significativas entre os valores de riqueza, riqueza relativa, equitabilidade, diversidade e complexidade ecológica observados para as cavidades turísticas e não turísticas.

Tabela 2 Parâmetros biológicos registrados nas cavidades subterrâneas artificiais estudadas: riqueza total (S), riqueza relativa (SR), diversidade (H'), equitabilidade (E), índice de complexidade ecológica (ICE). Primeiro são apresentados os valores considerando as espécies raras ou acidentais e, posteriormente, excluindo-se estas espécies

Cavidade	S		SR		E		H'		ICE	
	S	S	SR	SR	E	E	H'	H'	ICE	ICE
Casa	27	23	0,562	0,479	0,698	0,71	2,3	2,23	0,83	0,708
Cavalo	11	11	0,12	0,121	0,717	0,72	1,72	1,72	0,39	0,398
Canelas III	9	8	0,428	0,381	0,579	0,60	1,27	1,24	0,34	0,292
Perereca										
Anorexia	15	11	0,25	0,183	0,564	0,70	1,52	1,67	0,23	0,304
Água	6	6	0,085	0,086	0,924	0,92	1,65	1,66	0,58	0,582
Canela										
Branca	9	7	0,132	0,103	0,558	0,56	1,22	1,10	0,06	0,038
Canela										
Sem Noção	25	21	0,113	0,095	0,649	0,67	2,09	2,03	1,32	1,070
Conectada	14	13	0,205	0,191	0,833	0,84	2,19	2,16	0,89	0,798
Poço Sem										
Fundo	14	14	0,142	0,143	0,845	0,85	2,23	2,23	0,6	0,604
Meio do										
Mato	12	11	0,666	0,611	0,85	0,86	2,11	2,06	1,36	1,184
Cachoeira	16	15	0,533	0,5	0,641	0,64	1,77	1,74	0,79	0,707
Volta do										
Córrego	16	12	0,727	0,545	0,807	0,83	2,23	2,05	0,54	0,341
Vila Rica*	8	7	0,083	0,073	0,749	0,76	1,55	1,48	0,12	0,102
Velha*	14	12	0,093	0,08	0,609	0,62	1,6	1,54	1,32	1,032
Chico Rei*	15	13	0,089	0,078	0,753	0,77	2,04	1,99	1,324	1,091

*cavidades turísticas

A iluminação elétrica utilizada nas cavidades turísticas é do tipo incandescente e com lâmpadas de potências que variavam de 60 a 100 watts. Os valores de intensidade luminosa variaram de 0,30 *lm* a 0,53 *lm*, na Mina do Chico Rei; 53 *lm* a 103 *lm*, na Mina de Vila Rica e 0,09 *lm* a 103 *lm*, na Mina Velha (Tabela 3).

Tabela 3 Variações na umidade relativa e temperatura após os efeitos da iluminação elétrica nas cavidades subterrâneas artificiais turísticas

Cavidade	Umidade relativa		Temperatura		Valores máximos e mínimos de lúmen
	Inicial	Após iluminação	Inicial	Após iluminação	
Vila Rica	86	89	19,3	19,3	53-104 <i>lm</i>
Chico Rei	86	91	17,8	18,5	0,30-0,53 <i>lm</i>
Velha	89	91	19	20,1	0,09-103 <i>lm</i>

Na Mina do Chico Rei e na Mina de Vila Rica, todas as lâmpadas estavam protegidas por uma redoma de vidro e os fios elétricos protegidos por tubos plásticos, evitando o contato direto do turista com o equipamento. Já na Mina Velha, os equipamentos elétricos estavam expostos e não havia proteção que pudesse evitar acidentes envolvendo a rede elétrica (Figura 5).

Na mina do Chico Rei e na Mina de Vila Rica foi constatada a presença de organismos fotossintetizantes em zonas que seriam naturalmente afóticas (Figuras 5B e 5E). Nestas áreas, a única fonte de luz era proveniente da iluminação artificial.



Figura 5 Exemplos de iluminação elétrica presente no interior das cavidades turísticas Mina de Vila Rica (A e G), Mina do Chico Rei (B, C e F) e Mina Velha (G)

Dentre todas as quinze cavidades estudadas, o maior valor de umidade relativa foi registrado na Mina Sem Noção (100% de umidade relativa) e o menor valor na Mina da Casa (79%). Para a temperatura, a variação encontrada foi de 29,1°C a 17,5°C, observada na Mina da Perereca Anoréxica e na Mina da Volta do Córrego, respectivamente. Não foram observadas diferenças

significativas nos valores de umidade relativa e temperatura entre as cavidades turísticas (antes do início das visitas) e as cavidades não turísticas.

Observou-se que houve variação na temperatura e na umidade relativa após 30 minutos de funcionamento das lâmpadas elétricas nas minas turísticas (Tabela 3) (Figura 6).

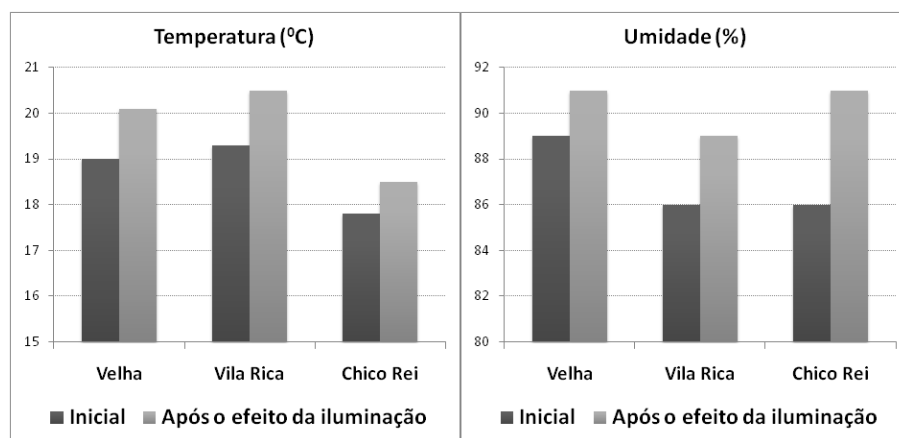


Figura 6 Variação nos valores de temperatura e umidade relativa após os efeitos da iluminação no interior das cavidades turísticas

Os impactos observados no interior dos sistemas turísticos foram o lixo inorgânico e orgânico em pequena quantidade e instalações elétricas (incluindo sistemas de iluminação e fiação). Também foi constatado que o piso das cavidades turísticas apresentava-se compactado, quando comparado às cavidades não turísticas. Esta compactação decorre do caminhar dos visitantes e pela retirada de pedras ou de qualquer outro obstáculo encontrado no caminho que possa dificultar o percurso realizado no interior da cavidade. Além disso, foram observadas modificações na estrutura física das minas, como colocação de portões, construções de pontes e degraus de alvenaria, homogeneização do piso através do despejo de cascalho e cimento, a presença de grades no piso, desvios e barramentos de cursos de água. No meio epígeo, foram observadas alterações

na vegetação externa (substituição por pastagens ou plantas exóticas) ou, até mesmo, a total supressão desta, além da construção de estruturas físicas que servem como apoio ao desenvolvimento do turismo (Figuras 5 e 7).

Alterações mais marcantes foram observadas somente em duas cavidades não turísticas, a Mina das Casas e a Mina da Volta do Córrego. Ambas localizam-se a menos de 20 m de locais onde existem residências, estando a Mina da Volta do Córrego inserida na zona Urbana de Ouro Preto. Nestas cavidades, observou-se, principalmente, lixo orgânico e inorgânico espalhado por toda a extensão onde foi desenvolvido o trabalho de coleta. Dentre os objetos encontrados, podem-se citar embalagens de vidro e plástico, peças de vestuário e pedaços de móveis, dentre outros resíduos domiciliares. Observou-se também a obstrução parcial da entrada destas cavidades, bem como a supressão da vegetação do entorno (Figura 8).

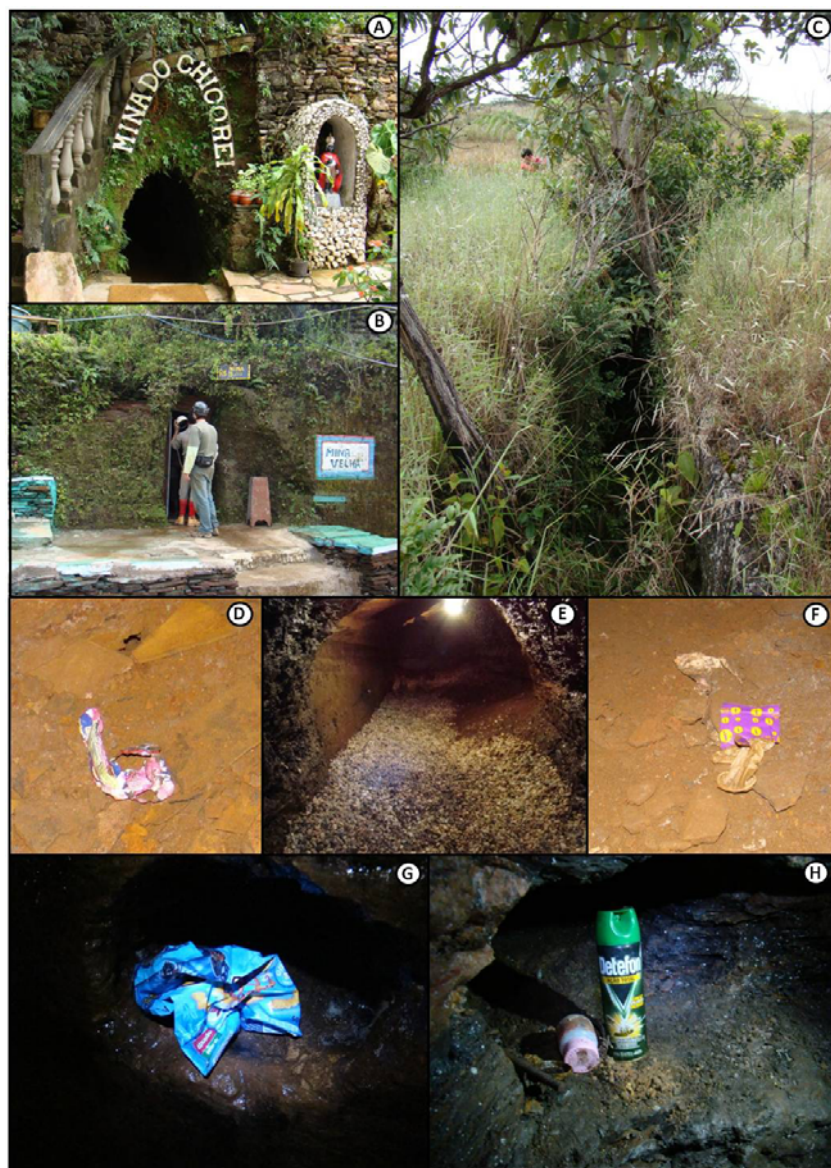


Figura 7 Exemplos de impactos potenciais observados nas cavidades subterrâneas artificiais turísticas em Ouro Preto (A, B, D, E, F, G, H). Dentre eles, alterações físicas e instalações elétricas, lixos inorgânicos e medidas de controle químico para invertebrados. Além disso, o aspecto da região do entorno de uma cavidade não turística no município de Mariana (C). A, D G – Mina do Chico Rei; B e H – Mina Velha; C – Mina da Canela Branca; E e F - Mina de Vila Rica



Figura 8 Exemplos de impactos potenciais observados na cavidade subterrânea artificial Mina da Volta do Córrego, localizada na zona urbana de Ouro Preto

4 DISCUSSÃO

Os estudos relacionados à biologia de ambientes subterrâneos são focados, principalmente, em cavidades naturais (CULVER; WHITE, 2005; ROMERO, 2009). No Brasil, apesar de estes estudos terem se iniciado a, pelo menos, 100 anos, somente no início da década de 1980 houve uma intensificação na produção de trabalhos voltados para essa área (TRAJANO; BICHUETTE 2006; SOUZA-SILVA, 2008).

As cavidades subterrâneas artificiais, que também podem abrigar um grande número de espécies, mereceram a atenção de poucos trabalhos científicos até o momento (PECK, 1988; GNASPINI; TRAJANO, 1994; FERREIRA, 2004; ROMERO, 2009). Embora o grau de conhecimento acerca das cavidades artificiais seja ainda incipiente, já existem indicações de que a composição da fauna e o funcionamento ecológico sejam similares aos observados em cavernas (PECK, 1988; GNASPINI; TRAJANO, 1994; FERREIRA, 2004).

Muitas cavernas no país atraem a atenção de visitantes em função da beleza cênica e misticismo. Algumas cavidades artificiais também o fazem, mas, principalmente, em função da sua importância histórica (GUIMARÃES et al., 2009; ESTRADA REAL, 2010). Desse modo, mesmo cavidades artificiais inativas e que não estão mais sendo escavadas podem receber impactos provenientes do uso antrópico atual.

Neste estudo, foi observado que, em cavidades artificiais turísticas, o número de espécies compartilhadas com os sistemas não turísticas foi sempre maior que o número de espécies raras ou acidentais. A maior riqueza de espécies compartilhadas pode decorrer da maior tolerância destas espécies a variações ambientais oriundas das alterações antrópicas. Dentre as espécies compartilhadas, estão organismos bem distribuídos em ambientes subterrâneos brasileiros e que, provavelmente, experimentam condições ambientais diversas

(TRAJANO; GNASPINI-NETTO, 1994; PINTO-DA-ROCHA, 1995; SOUZA-SILVA, 2008; FERREIRA, 2004; FERREIRA et al., 2010). Como exemplo, podem-se citar Ctenidae (*Enoploctenus ciclоторax*, *Isoctenus* sp.), Pholcidae (*Mesabolivar* sp.), Nesticidae (*Nesticus* sp.), Theridiidae (*Theridion* sp.), Spirostreptida (*Pseudonannolene* sp.) e Phalangopsidae (*Endecous* sp.). Desse modo, o estabelecimento do turismo pode atuar como uma pressão que seleciona preferencialmente espécies tolerantes a variações no ambiente, como as anteriormente citadas.

Alguns dos impactos observados em cavidades artificiais turísticas são exclusivos destes sistemas. Dentre eles, destacam-se a depleção de recursos alimentares e a redução da disponibilidade de habitats. Tais alterações podem levar à redução na riqueza de espécies. De forma inversa, em cavidades não turísticas, observaram-se, preferencialmente, a deposição de recursos alimentares e a criação de novos micro-habitats (lixo e entulho domiciliar). Estas alterações, provavelmente, podem atuar aumentando os valores de riqueza relativa. Como exemplo podem-se citar a Mina da Volta do Córrego e a Mina da Casa, que apresentaram tais impactos e as maiores riquezas observadas.

A condição imposta pelo turismo, relacionada à depleção de recursos em sistemas subterrâneos, já foi observada em outros estudos. Na Gruta Kiogo Brado, as atividades turísticas têm causado danos à estrutura física, resultando na menor disponibilidade de hábitat e diminuição de população por meio da morte de invertebrados, que pode ser causada pelo descuido ao ser realizar o caminhamento (FERREIRA et al., 2009). Entretanto, algumas ações podem ser utilizadas para minimizar o impacto causado pelo turismo em cavidades artificiais. Segundo FERREIRA e colaboradores (2009), a determinação de rotas específicas para que seja realizado o caminhamento foi sugerida como ação para reduzir o impacto direto sobre a comunidade de invertebrados.

Como observado por Eberhard (2001), a manutenção adequada do recurso disponível para a fauna em algumas cavidades turísticas da Oceania pode ser um fator decisivo na manutenção de populações de invertebrados, mesmo em sistemas que recebem milhares de visitantes.

Além de causar mudanças nos sistemas biológicos, o turismo pode alterar as condições climáticas de sistemas subterrâneos. Em algumas cavernas já foram observadas elevação da temperatura e mudanças na umidade relativa do ambiente e das taxas de CO₂, em função do uso turístico (PULIDO-BOSH et al., 1997; LINHUA et al., 2000; LOBO, 2006; LOBO, 2006a).

PULIDO-BOSCH e colaboradores (1997) observaram aumento de 5°C na temperatura e redução de 15% na umidade no ambiente da Caverna de Marvels, causados pelo sistema de iluminação. Da mesma forma, nas cavidades artificiais aqui estudadas, também foram registradas variações nos parâmetros ambientais, decorrentes da iluminação. Entretanto, no presente estudo, os valores de umidade foram elevados após o distúrbio. Mas, é importante ressaltar que, no estudo conduzido por PULIDO-BOSCH e colaboradores (1997), a coleta de dados foi realizada durante 23 horas, ao contrário deste estudo, no qual foi realizada apenas uma coleta, após 30 minutos de funcionamento da iluminação. Caso a coleta de dados deste estudo fosse realizada em longo prazo, provavelmente teriam sido observados padrões semelhantes ao encontrado por PULIDO-BOSCH e colaboradores (1997).

Os ambientes subterrâneos são espaços confinados que tendem a ter uma baixa circulação de energia, quando comparados com meio epígeo. Dessa forma, as interferências causadas pelo turismo acabam resultando em impactos que podem persistir por um longo tempo até se dispersarem (FERNÁNDEZ-CORTÉS et al., 2006; LOBO, 2006).

Não se sabe o tempo exato necessário para que haja um retorno às condições de temperatura e umidade relativa observadas inicialmente nas

cavidades subterrâneas artificiais após as visitas. Entretanto, os valores tomados inicialmente no interior desses ambientes são um indicativo de que as condições podem voltar a níveis semelhantes àqueles observados em cavidades em que não são realizados passeios turísticos.

FERNÁNDEZ-CORTES e colaboradores (2006) demonstraram que as alterações causadas nas condições ambientais (temperatura e umidade relativa) após visitas de turistas ao Geodo Pulpí (Espanha) podem durar até 27 horas. Tal cavidade localiza-se a mais de 300 m de profundidade em relação ao meio epígeo.

O sistema de iluminação, além de influenciar as condições ambientais, também pode causar pequenas alterações na comunidade biológica. Estes equipamentos proporcionam o crescimento de organismos fotossintetizantes no interior de sistemas hipógeos em zonas onde a única fonte de iluminação é a artificial. Dessa forma, ao proporcionar o crescimento de algas e líquens em cavidades subterrâneas, o sistema de iluminação promove o enriquecimento alimentar, podendo alterar os tamanhos populacionais de algumas espécies. Neste estudo, foram observadas agregações de certos invertebrados (colêmbolos, grilos e psocópteros) sobre este tipo de recurso, que evidenciaram um eventual consumo do mesmo por estes organismos. Portanto, antes da instalação de conjuntos de iluminação em cavidades subterrâneas, deve-se ter em vista que estes equipamentos podem causar interferências climáticas, como já foi constatado por Bogianni e colaboradores (2007). Também, podem vir a causar mudanças nas distribuições das populações de invertebrados presentes nestes locais.

Contudo, o impacto dos sistemas de iluminação pode ser minimizado. Como foi apresentado por LIMA e MORAES (2006), no plano de manejo da Gruta de Maquiné, o funcionamento intermitente, somente quando o turista está

presente no interior da cavidade, pode atenuar o efeito deste no microclima subterrâneo.

As cavidades artificiais compreendem um interessante modelo a ser estudado, pois podem auxiliar na proposição de ações de manejo de sistemas subterrâneos naturais. Dessa forma, estes sistemas podem fornecer subsídios para tornar o turismo uma alternativa econômica viável, conciliada com a preservação e o uso do patrimônio natural.

CONCLUSÕES

Modificação na estrutura física, principalmente na entrada das cavidades, diminui a quantidade de recursos que podem acessar o sistema subterrâneo e servir de alimento para fauna.

Lixos orgânicos carreados pelos turistas, além da estrutura física de apoio ao visitante, são as principais fonte de recurso para a fauna.

Parte das espécies que compõem as comunidades de sistemas turísticos subterrâneos são organismos tolerantes, que experimentam condições ambientais diversas.

O sistema de iluminação altera os valores de umidade e temperatura de ambientes subterrâneos, além proporcionar o crescimento de organismos fotossintetizantes em zonas afólicas, onde estes espécimes não deveriam ser encontrados

Agradecimentos

Aos colegas Marcus Paulo de Oliveira, Amanda M. Teixeira e Matheus Brajão, pelo auxílio durante o desenvolvimento das atividades de campo. A Antônio Brescovit (Aranae), Adriano Kury (Opiliones), Marcelo Ribeiro (Orthoptera) e Thaís G. Pellegrini (Coleoptera), que auxiliaram nas

identificações de invertebrados. À Epamig EcoCentro Lavras, por permitir que fossem utilizados os equipamentos pertencentes à instituição, durante a identificação do material acarológico.

A realização deste trabalho só foi possível devido ao auxílio financeiro concedido pela Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig Processo N^o: APQ 4189 5 03-07). Este trabalho contou com a anuência do IBAMA e do ICMbio (SISBIO 14758-1 e 19637-1).

REFERÊNCIAS

AYRES, M.; AYRES-JÚNIOR, M.; AYRES, D. L.; SANTOS, A. A. **BIOESTAT**: Aplicações estatísticas nas áreas das ciências bio-médicas. Belém: Ong Mamiraua. 2007, 380 p.

BOGGIANI, P.C.; SILVA, O.J. DA; GESICKI, A.L.D.; GALLATI, E.A.B.; SALES L. de O.; LIMA, M.M.E.R. Definição de capacidade de carga turística das cavernas do Monumento Natural Gruta do Lago Azul (Bonito, MS). **Geociências**, v. 26, n. 4, p. 333-348, 2007.

CULVER, D.C.; WHITE. **Encyclopedia of caves**. San Diego, California: Elsevier 2005. p. 654.

EBERHARD, S. Cave fauna monitoring and management at Ida Bay, Tasmania. **Records of the Western Australian Museum**, (Supplement) n. 64, p. 97-104, 2001.

ESTRADA REAL. Instituto Estrada Real (Cidades). Minas Gerais, 2010. Disponível em: <<http://www.estradareal.org.br>>. Acesso em: 05 de Dezembro de 2010.

FAUSTO, B. **História do Brasil**. São Paulo: Edusp, 2003. p. 650.

FERNÁNDEZ-CORTÉS, A.; CALAFORRA, J.M.; ANCHEZ-MARTOS, F.S.; GISBERT J. Microclimate processes characterization of the giant Geode of Pulpí (Almería, Spain): technical criteria for conservation. **International Journal of Climatology**, n.26, p.691–706, 2006.

FERREIRA, R.L. A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos. 2004. 158p. Tese de doutorado em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais Belo Horizonte, 2004.

FERREIRA, R.L.; MARTINS R.P. Mapping subterranean resources: The cave invertebrates distribution as indicator of food availability, **Revista Brasileira de Zoociências**, v. 11, n. 2, p. 119-127, 2009.

FERREIRA, R.L.; PROUS, X.; BERNARDI, L.F.O.; SOUZA-SILVA, M. Fauna Subterrânea Do Estado Do Rio Grande Do Norte: Caracterização E Impacto. **Revista Brasileira de Espeleologia**, n. 1, v. 1, p. 25-51, 2010.

GNASPINI, P.; E. TRAJANO. Brazilian cave invertebrates, with a checklist of troglomorphic taxa. **Revista Brasileira da Entomologia**, n. 38, v. 3/4, p. 549 – 584, 1994.

GUIMARÃES, R.L.; TRAVASSOS, L.E.P.; CUNHA, L.I.D.; AZEVEDO, U.R.; VINTI, M. O geoturismo em espaços sagrados de Minas Gerais. **Espeleo-Tema**, v. 20, n. 1/2, p. 49-58, 2009.

HAMMER, O.; HAPPER, D.A.T.; RYAN, P.D. Past Paleontological Statistics, ver. 1.12. Disponível em http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm. Acesso em: 28 de Outubro de 2003.

LINHUA, S.; XIAONING, W.; FUYUAM L. The influences of cave tourist on CO₂ and temperature in Baiyun Cave. **International Journal of Speleology**, v. 29b, n. 1/4, p. 77-87, 2000.

LIMA, T. F.; MORAIS M. S. Contribuições para o desenvolvimento de plano de manejo em ambiente cavernícola - Gruta do Maquiné: um estudo de caso. **Geonomos**, v. 1, 2, n. 14, p.45 -53, 2006.

LINO, C. F. **Cavernas; O fascinante Brasil subterrâneo**. Editora Gaia LTDA. São Paulo. 2001. p. 288.

LOBO, H.A.S. Caracterização dos Impactos Ambientais Negativos do Espeleoturismo e Suas Possibilidades de Manejo. **IV Seminário de Pesquisa em Turismo do Mercosul/III Seminário da ANPTUR**. Caxias do Sul, RS. Anais do SeminTUR. Caxias do Sul, RS: EDUCS, v. 4, 2006a.

LOBO, H.A.S. O lado escuro do paraíso: espeleoturismo na Serra da Bodoquena. 2006b. 164p. Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso, Aquidauana, 2006b.

LOBO, H.A.S. Capacidade de carga real (CCR) da Caverna de Santana, Parque Estadual Turístico Do Alto Ribeira (PETAR)-SP, e indicações para o seu manejo turístico. **Geociências**, v. 27 n. 3 p. 369-385, 2008.

LOBO, H.A.S.; PERINOTTO, J.A.J.; BOGGIANI P.C. Capacidade de carga turística em cavernas: estado-da-arte e novas perspectivas. **Espeleo-Tema**, v. 20, n. 1/2, p. 37-47, 2009.

PECK, S.B. A review of the cave fauna of Canada, and the composition and ecology of the invertebrate fauna of cave and mines in Ontário. **Canadian Journal of Zoology**, n. 66, p.1197-1213.1988.

PINTO-DA-ROCHA, R. Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907 - 1994). **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 39, n. 6, p. 61-163, 1995.

PULIDO-BOSCH A.; MARTÍN-ROSALES W.; LÓPEZ-CHICANO M.; RODRÍGUEZ-NAVARRO C.M.; VALLEJOS A. Human impact in a tourist karstic cave (Aracena, Spain). **Environmental Geology** n. 31, v. 3/4, p. 142-149. 1997.

ROMERO, A. **Cave Biology: Life in Darkness**. New York: Cambridge University Press, 2009. p. 291.

SHOPOV, Y.Y. Sediments: biogenic. In: GUNN, J (Ed.) **Encyclopedia of Caves and Karst Science**. New York/London: Taylor and Francis Group, 2004. p.1356-1359.

SOUZA-SILVA, M. **Dinâmica de disponibilidade de recursos alimentares em uma caverna calcária**. 2003. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais/Pós-Graduação em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre. 76pp.

SOUZA-SILVA, M. **Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na Mata Atlântica Brasileira**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais/Pós-Graduação em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre. 226pp.

SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R.L.; BERNARDI, L.F.O.; MARTINS, R.P. Importation and Processing of Organic Detritus in Limestone Cave. **Espeleo-Tema**, v. 19, p. 31-46, 2007.

TRAJANO, E.; BICHUETTE, M.E. *Biologia Subterrânea*. São Paulo: Redespeleo, 2006. p. 92.

TRAJANO, E.; GNASPINI-NETTO P. Composição da fauna cavernícola brasileira, com uma análise da distribuição dos táxons. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 7 n. 3, p. 383-407, 1991.

VERÍSSIMO, C.U.V.; SOUZA, A.E.B.A.; RICARDO, J.M.; BARCELOS, A.C.; NETO, J.A.N.; REIS, M.G.M. Espeleoturismo e microclima da Gruta de Ubajara, CE. **Estudos Geológicos**, v. 15, p. 244-253, 2005.

VILLAR, E.; BONET, A.; DIAZ-CANEJA, B.; FERNANDEZ, P.L.; GUTIERREZ, I.; QUINDOS, L.S.; SOLANA, J.R.; SOTO, J. Ambient temperature variations in the hall of paintings of Altamira cave due to the presence of visitors. **Cave Science**, v. 11, n. 2, p. 99-104, 1984.

ZAMPAULO, R.A. **Diversidade de invertebrados cavernícolas na província espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis (MG): subsídios para a definição de áreas prioritárias para conservação**. 2009. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras/Pós-Graduação em Ecologia Aplicada. 190pp.

Apêndice 1 Composição, abundância e distribuição da fauna em cavidades subterrâneas artificiais localizadas no município de Mariana

Ordem/Família	Gênero/Espécie	Casa	Cavalo	Canelas III	Perereca Anorexia	Água	Branca	Sem Noção	Conectada	Poço Sem Fundo	Meio do Mato	Cachoeira
Mesostigmata												
Laelapidae	<i>Androlaelaps</i> sp.				100							
Laelapidae	<i>Stratiolaelaps</i> sp.				202							
Macrochelidae	sp1	18										
Macrochelidae	sp2							5		3		
Trombidiforme												
Anystidae	<i>Erythracarus nasutus</i>	26	6									
Araneae												
Palpimanidae	<i>Otithops</i> sp. ^{ac}							1				
Ctenidae	<i>Ancylometes concolor</i>					5						
Ctenidae	<i>Enoploctenus cyclothorax</i>	1						13	7			
Nesticidae	<i>Nesticus</i> sp.							3	1		1	
Oonopidae	<i>Oonops</i> sp.							3				
Ochyroceratidae	<i>Ochyrocera</i> sp.											2
Pholcidae	<i>Mesabolivar</i> sp3	3	10	63	38	10	43	142	18	14	2	
Tetragnathidae	sp1	2										
Trechaleidae	<i>Trechaleoides</i> sp.							2				1
Theridiidae	sp1 ^{ac}	1										
Theridiidae	<i>Theridion</i> sp1	2	1	2	17			50	2	2		4
Theridiosomatidae	<i>Plato</i> sp1		76					189	4	2		1
Salticidae	sp1 ^{ac}				1							
Segestridae	<i>Ariadna</i> sp.							2				

Apêndice 1, continuação

Sicariidae	<i>Loxosceles similis</i>								6	3
Opiliones										
Gonyleptidae	<i>Eusarcus</i> sp.	1				3				4
Gonyleptidae	<i>Mitogoniell</i> <i>indistincta</i>						2	6	5	3
Gonyleptidae	sp1					3				
Gonyleptidae	<i>Goniosoma</i> sp. ^{ac}	26				3	2	12	2	
Spirostreptida										
Spirostreptidae	<i>Pseudonannolene</i> sp1		2	3	4					1
Spirostreptida	<i>Pseudonannolene</i> sp2								1	
Isopoda										
Phylosiidae	sp1	1		7		3		8		
Isopoda	sp1							1		
Blattaria										
Blattaria	sp1									2
Blattaria	sp2 ^{ac}							1		
Blattaria	sp3 ^{ac}						1			
Blattaria	sp5	9								
Coleoptera										
Carabidae	sp1	1		4						
Carabidae	sp2							7		
Gyrinidae	sp1					6				2
Pselaphidae	sp3							2		
Pselaphidae	sp4 ^{ac}						1			
Staphilinidae	sp1	1	4							
Staphilinidae	sp2	20								
larva	sp1	4								
larva	sp2 ^{ac}	1								
Diptera										
Cecidomyiidae	sp1	6								
Culicidae	<i>Culex</i> sp.	6	1			1				
Tipulidae	sp1 ^{ac}								3	
Tipulidae	sp2 ^{ac}				1					
	sp1	1								
	sp2	1			1				1	
Chironomidae	Larva		2							1
Keroplastidae	Larva								9	

Apêndice 2 Composição, abundância e distribuição da fauna em cavidades subterrâneas artificiais localizadas no município de Mariana

Ordem/Família	Gênero/Espécie	Volta do Córrego	Rica	Velha	Rei
Trombidiforme					
Anystidae	<i>Erythracarus nasutus</i>	1			
Pseudoescorpiones					
Chernetidae	sp1	2			
Araneae					
Ctenidae	<i>Ancylometes concolor</i>	1			
Ctenidae	<i>Isoctenus</i> sp.	2		1	
Nesticidae	<i>Nesticus</i> sp.				2
Ochyroceratidae	<i>Ochyrocera</i> sp.				
Pholcidae	<i>Mesabolivar</i> sp3	14	2	1	11
Theridiidae	<i>Theridion</i> sp1	1		1	
Theridiosomatidae	<i>Plato</i> sp1		3	17	
Sicariidae	<i>Loxosceles</i> sp.	8			
Scytodidae	<i>Sytodes</i> sp.		1	1	
Opiliones					
Gonyleptidae	<i>Goniosoma</i> sp1 ^{ac}	1			
Gonyleptidae	<i>Eusarcus</i> sp.				3
Gonyleptidae	<i>Mitogoniell indistincta</i>			6	3
Gonyleptidae	sp1		2		9
Polydesmida					
Paradoxosomatidae	sp1 ^{ac}	1			
Spirostreptida					
Spirostreptida	<i>Pseudonannolene</i> sp2			1	
Isopoda					
Isopoda	sp1	2			
Blattaria					
Blattaria	sp4 ^{ac}			1	
Coleoptera					
Pselaphidae	sp1			2	
Pselaphidae	sp2 ^{ac}	1			
Pselaphidae	sp3				3
Diptera					
Culicidae	<i>Culex</i> sp.				5
Sciaridae	sp1 ^{ac}	1			

Apêndice 2, continuação

Hemiptera					
Reduviidae	<i>Zelurus</i> sp1	1			
	sp2	8			
Lepidoptera					
Tineidae	sp1 ^{ac}				1
	sp1 ^{ac}		1		
Psocoptera					
Psocoptera	sp3				12
Orthoptera					
Phalangopsidae	<i>Endecous</i> sp		10	16	23
Phalangopsidae	<i>Strinatia</i> sp.	15	3	1	1
Collembola					
	sp1				29
	sp2			5	
	sp3				1
	sp4	9	19	58	51
Symphyla					
	sp1 ^{ac}				1
Platyhelminthes					
	sp1 ^{ac}			1	

*co: colônia; ^{ac}:espécies que foram consideradas raras ou acidentais

ARTIGO 2

CONSIDERAÇÕES SOBRE OS EFEITOS DO TURISMO NO ECOSSISTEMA DA MINA DO CHICO REI (OURO PRETO, MINAS GERAIS): IMPLICAÇÕES PARA O MANEJO EM SISTEMAS NATURAIS

O presente artigo foi redigido conforme as normas da revista científica “Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas”, ISSN: 1983-473X (versão publicada no volume 3, número 2, páginas 67-77, ano de 2010)

Resumo

O turismo em cavidades subterrâneas vem sendo difundido e realizado em todo o território brasileiro. Tal atividade, no entanto, pode causar severos impactos a estes sistemas, caso seja conduzida de forma inadequada. Dessa forma, este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar as alterações em parâmetros abióticos (temperatura e umidade relativa), além de possíveis deslocamentos da fauna em resposta ao turismo desenvolvido na “Mina do Chico Rei”, localizada em Ouro Preto, Minas Gerais. Foi observada a elevação da temperatura e da umidade relativa após o uso do sistema. Além disso, as atividades turísticas causam alguns impactos ao sistema, tais como a compactação e a homogeneização do piso. Tais alterações fazem com que a fauna se distribua em locais onde o efeito do turismo não é muito intenso. O planejamento do turismo em cavidades subterrâneas deve ser realizado antes do uso destes sistemas, pois alguns impactos decorrentes dessa atividade podem ser irreversíveis.

Palavras Chave: turismo, minas subterrâneas, fauna, cavernas, impactos.

Abstract

Touristic activities in Brazilian caves are quite common. Furthermore, such activities are increasing all over the country. However, the tourism in caves can led to severe impacts when it is conducted in not proper ways. The aim of this work was to evaluate eventual changes in some abiotic (temperature and moisture content) and biotic parameters after some touristic activities in an artificial cavity (“Mina do Chico Rei”), located in Ouro Preto, Minas Gerais. Temperature and moisture content had increased after the touristic visits. Furthermore, those activities had led to some changes in the cavity, such as soil compacting. The invertebrates are preferentially distributed in places not directly or intensively affected by the tourists. The tourism in a cavity has to be planned preferentially before the beginning of those activities, since many impacts derived from tourism can be irreversible.

Keywords: tourism, subterranean mines, fauna, caves, impacts.

1 INTRODUÇÃO

Existem diversos tipos de cavidades subterrâneas, cada qual formada por processos diferenciados. As cavidades subterrâneas naturais são formadas principalmente pela ação da água, que atua dissolvendo a rocha e formando condutos e galerias de dimensões variadas (GILBERT et al., 1994; GILLIESON, 1996). Além da água, outros processos, tais como erupções vulcânicas e rearranjo de blocos rochosos, também podem formar cavernas (GILLIESON, 1996; TWIDALE; ROMANÍ, 2005).

No entanto, processos naturais não são os únicos a dar origem a cavidades subterrâneas. Ações antrópicas também podem gerar cavidades. As cavidades artificiais subterrâneas (minas, túneis e galerias) são abertas pela ação do homem, para a extração de diferentes minerais ou metais de valor econômico.

Apesar da gênese de cavidades naturais e artificiais ser distinta, ambas podem apresentar características ambientais comuns, determinadas, principalmente, pela ausência de luz. Desse modo, a maior estabilidade ambiental comparada aos sistemas externos, além da ausência de organismos fotossintetizantes, são características presentes tanto nas galerias artificiais como nas cavernas (FERREIRA, 2004). Além disso, as minas e as cavernas compartilham outros fatores, tais como a estrutura das comunidades e os principais grupos de organismos que as colonizam (PECK, 1988; FERREIRA, 2004).

As semelhanças entre as cavidades subterrâneas artificiais e as cavernas não se restringem a fatores ambientais e faunísticos. Tais cavidades podem também apresentar o mesmo tipo de uso antrópico, como o uso turístico (FERREIRA, 2004). Centenas de cavernas são utilizadas para o turismo em todo o mundo (CIGNA; BURRI, 2000). No Brasil, existem diversas cavidades turísticas, com usos bastante diversificados (uso religioso, esportivo ou

simplesmente contemplação). Algumas cavernas no país possuem mais de cem anos de uso para essa finalidade (LINO, 2001, LOBO, 2006a FERREIRA, 2004).

Em relação ao uso turístico de cavidades artificiais, destaca-se, no país, o estado de Minas Gerais que tem grande vocação para a extração de minérios, o que levou à construção de milhares de minas subterrâneas ao longo dos últimos 300 anos. Na atualidade, ainda existem centenas de galerias subterrâneas em atividade no estado. No entanto, algumas galerias históricas atualmente inativas são exploradas turisticamente, tais como a Mina do Chico Rei e a Mina da Passagem, localizadas em Ouro Preto e Mariana, respectivamente.

Embora o turismo em cavidades subterrâneas no Brasil venha sendo realizado há décadas, ainda existem muitas lacunas metodológicas referentes ao manejo adequado destes sistemas. As estratégias de conservação e manejo que balizam o modo do uso destes ambientes, de forma a minimizar os impactos sobre estes sistemas, ainda compreendem um debate recente em nosso país (LINO, 2001; LOBO, 2006a; LOBO, 2006b; LOBO et al., 2009; FERREIRA, 2004; FERREIRA et al., 2009). Como apresentado por Lobo (2006b) e Ferreira e colaboradores (2009), as principais discussões levantadas até o momento relacionam-se a mudanças no meio abiótico, como depredação de espeleotemas, variações de temperatura, umidade e nos níveis de CO₂ do ambiente. Considerações efetivas sobre o manejo biológico, envolvendo os espécimes presentes nas cavernas, ainda são muito escassas (LINO, 2001; LOBO 2006a; LOBO, 2006b; FERREIRA, 2004; SÉSSEGOLO et al., 2004a; SÉSSEGOLO et al., 2004b; FERREIRA et al., 2009; FERREIRA, 2009).

Existem dificuldades nítidas na proposição de manejo e na conservação de ambientes subterrâneos brasileiros, tais como a determinação da capacidade de carga, a elaboração de rotas e percursos para o uso turístico e a escolha de parâmetros biológicos consistentes que possam auxiliar na construção em ações

de manejo, dentre outros (FERREIRA et al., 2009, LOBO, 2009). Nesta perspectiva, cavidades subterrâneas artificiais (funcionalmente semelhantes às cavernas) configuram-se como bons modelos para o desenvolvimento de pesquisas, que visam compreender melhor os sistemas subterrâneos e os potenciais impactos que estes possam vir a sofrer. Dessa forma, este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar os impactos sofridos pela Mina do Chico Rei, decorrentes de sua utilização turística. Além disso, aspectos relacionados às possíveis respostas da fauna ao turismo também foram avaliados.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de estudo

A Mina do Chico Rei é uma cavidade subterrânea localizada na região urbana do município de Ouro Preto (23K E656608 N7745079) (Figura 1). Sua construção remonta ao século XVIII e, de acordo com os atuais proprietários da área, o objetivo de sua construção era a extração do ouro, posteriormente servindo de rota de fuga para escravos e extravio de ouro roubado. Atualmente, a mina está em processo de mapeamento, sendo o turismo desenvolvido apenas na parte inicial da cavidade. O trecho estudado corresponde a uma pequena porção da cavidade, composta por dois corredores principais que totalizam cerca de 139 m. Esta área se apresenta iluminada por lâmpadas elétricas incandescentes. Além disso, foram amostrados outros dois trechos ligados ao sistema turístico, que totalizam cerca de 28 m e que praticamente não recebem visitas, por não se apresentarem iluminados (Figura 7).

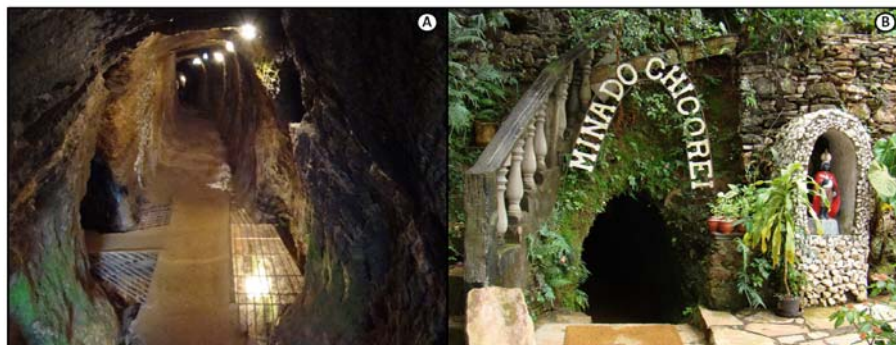


Figura 1 Mina do Chico Rei. A; região interna, vista hipógea da entrada em direção ao fundo. B; região da entrada, meio epígeo

2.2 Inventário biológico

Os invertebrados terrestres foram coletados em todos os biótopos potenciais (e.g. depósitos orgânicos, espaços sob rochas e locais úmidos) existentes na cavidade (SHARRATT et al., 2000; FERREIRA, 2004). Cada organismo observado teve sua posição registrada em um croqui da cavidade. Dessa forma, ao final de cada coleta, foram geradas informações concernentes à riqueza de espécies, às abundâncias relativas e à distribuição espacial de cada população (FERREIRA, 2004). Para facilitar a caracterização das distribuições populacionais das espécies de invertebrados, a cavidade foi dividida em 10 setores. Para a obtenção dos setores, a cavidade foi dividida em 10 regiões, cada uma correspondente a 1/10 do desenvolvimento linear do local onde foi realizada a amostragem de invertebrados (FERREIRA, 2004). O setor de número 1 foi definido como aquele correspondente à entrada e o setor de número 10, à região mais afastada da entrada. As características físicas dos micro-habitats (e.g. piso compactado, piso com rochas soltas, teto, parede) onde os espécimes foram observados e capturados foram registradas no mapa da cavidade (Figura 2).

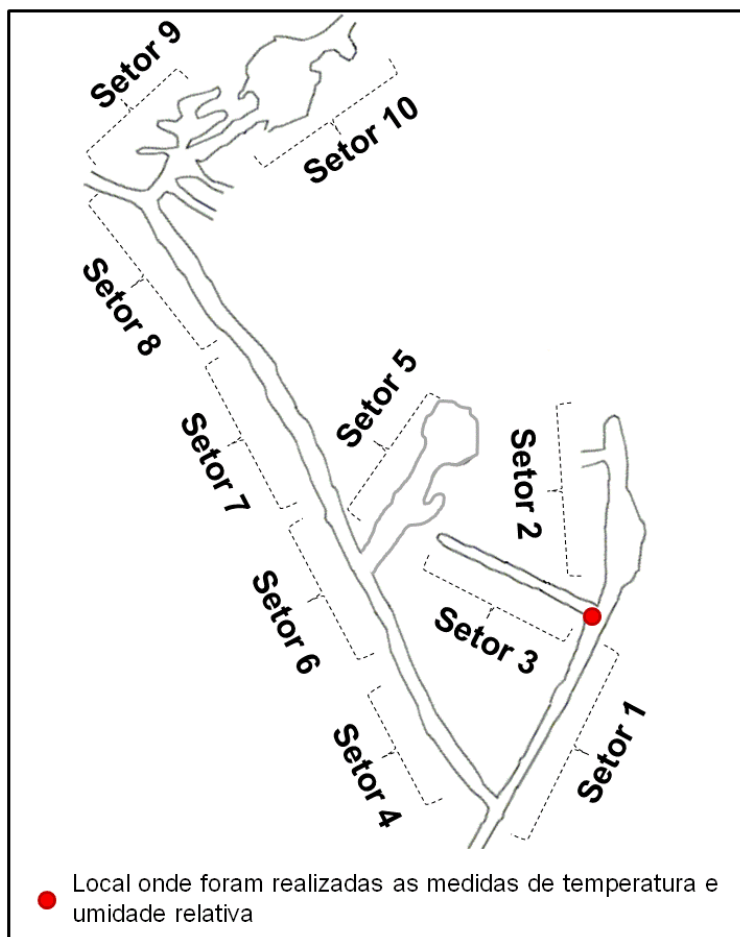


Figura 2 Croqui com a representação esquemática dos setores que foram elaborados na Mina do Chico Rei

Todos os organismos foram identificados até o nível taxonômico possível e separados em morfoespécies. A riqueza de espécies foi obtida por meio do somatório do total de espécies encontradas.

2.3 Caracterização ambiental das galerias artificiais

A caracterização ambiental das galerias artificiais foi realizada concomitantemente às coletas de invertebrados. Para isso, todos os tipos de recursos alimentares presentes nos sistemas foram qualificados e suas posições foram assinaladas no croqui esquemático da cavidade. Além disso, foram tomadas as medidas de temperatura e umidade relativa do ar e a taxa de ruídos.

Os equipamentos utilizados para as medições das variáveis abióticas foram um termo-higrômetro (que opera em uma faixa de -5° a 70°C e umidade de 20% a 99%, com precisão de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ e $\pm 2\%$) e um decibelímetro (opera em uma faixa que varia entre 25 e 130 dB, com precisão de 1,5 dB.)

As medidas de temperatura e umidade relativa foram feitas na porção mediana do conduto onde estão localizados os setores 1, 2 e 3. Segundo os proprietários da cavidade, este local é onde o turista passa a maior parte do tempo da visita (Figura 2). Neste local, o termo-higrometro permaneceu fixo a 30 cm do solo e a uma distância de cerca de 2 m do sistema de iluminação.

2.4 Monitoramento ambiental e biológico realizado nas cavidades turísticas

Foram verificados todos os impactos potenciais gerados pela atividade turística na cavidade. Para tal, avaliou-se a distribuição espacial das diferentes populações presentes na Mina do Chico Rei, além da variação de quatro parâmetros ambientais: temperatura, umidade relativa, luminosidade e intensidade de ruídos. Tais medidas abióticas e bióticas foram realizadas em cinco momentos, ao longo do dia 27 de novembro de 2010.

A primeira medida foi feita no início do dia, no período da manhã, antes de qualquer atividade turística. Nesta ocasião foram realizadas medidas de temperatura, umidade relativa e ruídos na região mediana da cavidade, com

auxílio do termo-higrômetro e do decibelímetro. As medidas de temperatura e umidade relativa foram tomadas após um tempo 40 minutos da colocação do equipamento na cavidade. Durante este período, o sistema de iluminação permaneceu desligado e não houve incursões de pessoas ao interior da cavidade.

Após tais medidas, uma equipe de três pessoas adentrou a cavidade para a realização do inventário de todos os invertebrados presentes no sistema. Para tal, foi adotado o método anteriormente descrito (FERREIRA, 2004). Durante a atividade de coleta, o sistema de iluminação permaneceu desligado. Logo após, a cavidade foi liberada para que as visitas de grupos de turistas fossem iniciadas.

Cada grupo de visitantes circulava somente pelo percurso iluminado. Durante a visita, as variações nos níveis de ruído eram feitas por meio de um decibelímetro. Para tal, os grupos de turistas eram acompanhados por um membro da equipe que registrava os valores ao longo da caminhada no interior da cavidade.

Ao final da visita, um membro da equipe entrava na cavidade para verificar os valores mínimos e máximos de temperatura e umidade relativa, a fim de verificar se houve variação nestes parâmetros em relação aos valores inicialmente medidos. Após terem sido anotados os valores dos parâmetros abióticos, uma equipe de três pessoas entrava novamente na cavidade e realizava uma nova vistoria em todo o ambiente. Nesse procedimento, os invertebrados encontrados eram novamente plotados em um croquis da cavidade, no intuito de se observar se havia mudanças nas localizações das populações após a interferência da atividade turística.

Todo o trabalho foi conduzido ao longo de uma única manhã, tendo início às 08h00min com as medidas iniciais, às 09h30min foi realizada a visita do primeiro grupo e as atividades foram encerradas às 12h30min.

3 RESULTADOS

No interior da Mina do Chico Rei foram encontradas 15 espécies de 9 ordens, pertencentes aos seguintes taxa: Araneae (Pholcidae – *Mesabolivar* sp.; Nesticidae – *Nesticus* sp.); Opiliones (Gonyleptidae – *Eusarcus* sp.), Shymphyla, Psocoptera, Coleoptera (Pselaphidae), Lepidoptera (Tineidae); Orthoptera (Phalangopsidae – *Strinatia* sp., *Endecous* sp.), Diptera (Culicidae – *Culex* sp.), e Collembola. Nenhum organismo troglomórfico foi encontrado na cavidade (Tabela 1).

A riqueza e a abundância das espécies apresentaram os maiores valores nos setores mais próximos à entrada da cavidade (Figura 3 e 4).

Os espécimes encontrados no piso da cavidade na região turística foram observados principalmente em locais onde havia pedras soltas e matéria orgânica. Estes locais estão concentrados próximos às paredes e não são pisoteados durante as visitas, pois estão fora do percurso utilizado pelos turistas (Fig. 6 e 7).

Tabela 1 Taxa encontrados na Mina do Chico Rei com suas respectivas espécies e número de setores em que foram encontrados

Nº Referência	Ordem/Família	Espécie	Nº Setores
1	Orthoptera: Phalangopsidae	<i>Endecous</i> sp1	7
2	Collembola	espécie 1	3
3	Collembola	espécie 2	4
4	Aranae: Pholcidae	<i>Mesabolivar</i> sp.	4
5	Coleoptera: Pselaphidae	espécie 1	3
6	Aranae: Nesticidae	<i>Nesticus</i> sp1	3
7	Orthoptera: Phalangopsidae	<i>Strinatia</i> sp.	2
8	Diptera: Culicidae	<i>Culex</i> sp1	2
9	Opiliones: Gonyleptidae	<i>Eusarcus</i> sp.	2
10	Opiliones: Gonyleptidae	<i>Mitogoniella indistincta</i>	1
11	Symphyla	espécie 1	1
12	Psocoptera	espécie 1	4
13	Collembola	espécie 3	1
14	Opiliones: Gonyleptidae	espécie 1	3
15	Lepidoptera: Tineidae	espécie 1	1

Legenda: Nº referência= refere-se ao número de representação da espécie no croqui esquemático da cavidade apresentado na Figura 7. Nº Setores= quantidade de setores em que a espécie foi observada durante o levantamento da fauna de invertebrados na Mina do Chico Rei

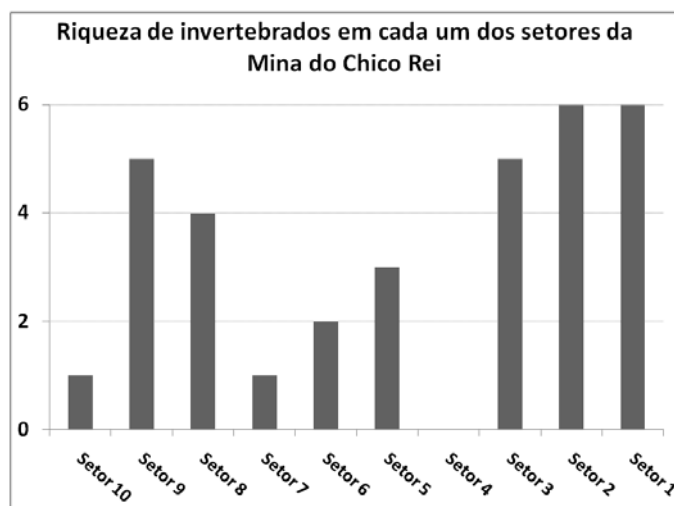


Figura 3 Distribuição da riqueza de espécies de invertebrados ao longo dos setores da cavidade artificial Mina do Chico Rei

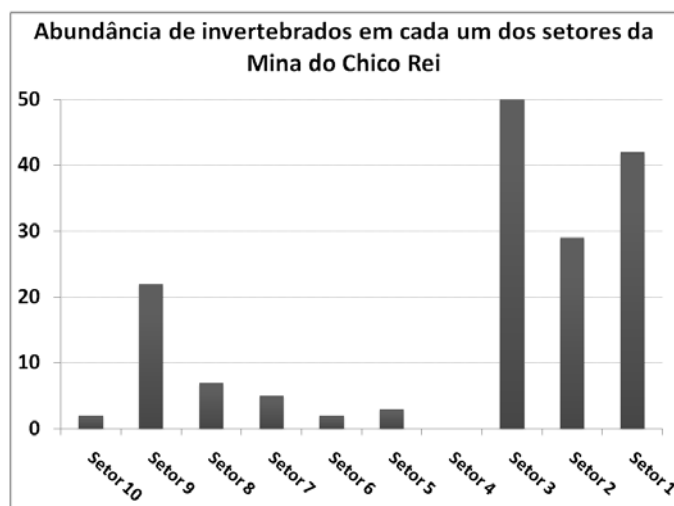


Figura 4 Distribuição das abundâncias de invertebrados ao longo dos setores da cavidade artificial Mina do Chico Rei

A população de *Endecous* sp. (Orthoptera: Phalangopsidae), a espécie mais bem distribuída no sistema, também seguiu a mesma tendência da riqueza, estando mais concentrada nos setores próximos à entrada da cavidade (Fig. 5 e 7).

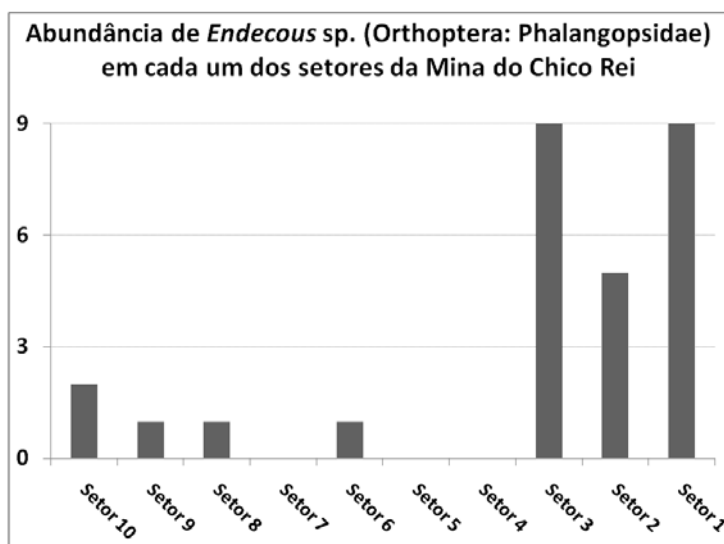


Figura 5 Distribuição da população de *Endecous* sp. ao longo dos setores da cavidade artificial Mina do Chico Rei



Figura 6 Presença de dois locais distintos no piso da cavidade turística Mina do Chico Rei. A, região de solo compactado onde existe o caminhamento preferencial do turismo; B, locais com presença de rochas soltas, material particulado, lixo orgânico e inorgânico que sofreram pouca ação de pisoteamento

Outros locais onde os invertebrados foram observados são os condutos laterais, que estão conectados às zonas turísticas. Nestes condutos, o solo é

pouco compactado, apresentando pedras soltas e alguns restos orgânicos, tais como papéis, velas com presença de fungos e pedaços de madeira. Pelo fato de estes condutos não serem visitados (devido à ausência de iluminação), o lixo não é removido e o local não sofre com a compactação do solo ocasionada pelo turismo intenso.

Os locais da cavidade onde foram observadas as maiores agregações de espécimes foram o teto e as paredes na região de entrada. Nesta porção, existe uma região de penumbra e o piso não apresenta micro-habitats disponíveis, pois foi alterado pela confecção de uma escada, além de ter sido revestido com cimento (Figuras 1 e 7).

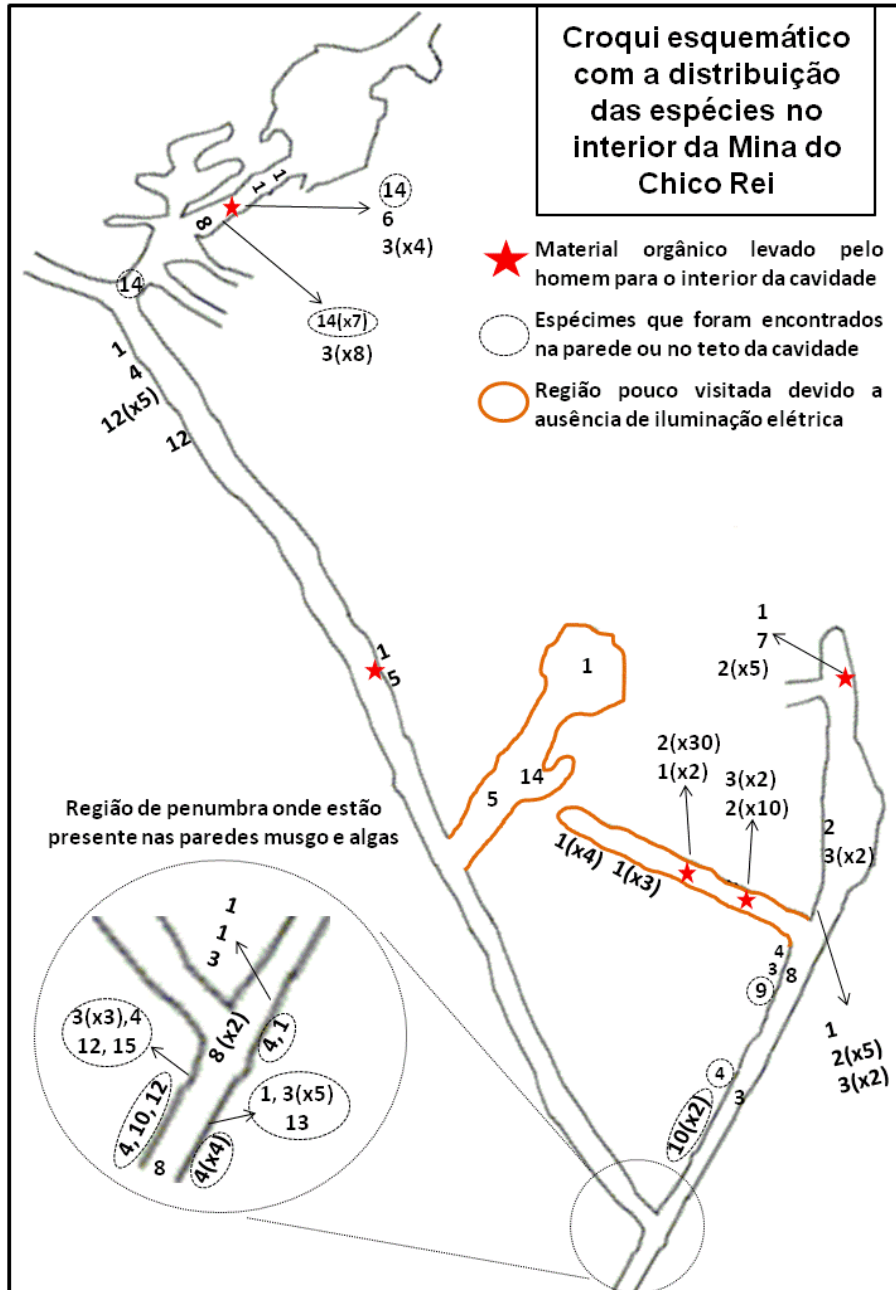


Figura 7 Croqui representando a distribuição das espécies e dos recursos presentes na Mina do Chico Rei

A região de entrada é atípica em relação à disponibilidade de recursos, quando comparada ao restante da cavidade. Nesta área, quase toda a parede é revestida por musgos e algas, que podem servir de recurso alimentar para a fauna. No restante da cavidade, os únicos recursos alimentares potencialmente utilizados compreendem poucos restos orgânicos, além dos fungos a eles associados. Todo este material corresponde a restos orgânicos trazidos pelos turistas ou, então, restos de estruturas utilizadas para facilitar o acesso dos turistas, como papéis, velas, restos de alimento, pedaços de madeira utilizados em corrimão e um pedaço de corda.

Em relação aos padrões de distribuição da fauna, após o desenvolvimento do turismo, não foram observadas modificações na localização das populações dos espécimes, quando comparados com os dados da coleta realizada iniciais, antes de qualquer atividade turística. O padrão de distribuição da fauna permaneceu semelhante àquele observado na primeira vistoria realizada na cavidade, mesmo após as quatro visitas de grupos de turistas.

Apesar de os padrões de distribuição da fauna não terem sido alterados, os parâmetros abióticos, de temperatura e umidade relativa, apresentaram alterações após a realização do turismo.

Os valores iniciais registrados para a temperatura e a umidade relativa, no momento anterior a qualquer atividade antrópica, foram de 17,8°C e 86%, respectivamente.

A primeira visita turística ocorrida na Mina do Chico Rei foi feita por um grupo composto de dois adultos e duas crianças. Após esta visita, os valores de temperatura e umidade relativa se alteraram para 18,5°C e 90%.

Após a segunda visita, os valores registrados foram de 18,4°C e 92% e, após a terceira visita, os valores alteraram para 18,6°C e 93%. Em ambas as ocasiões entraram na cavidade grupos compostos de um adulto e uma criança.

A quarta e última visita foi realizada por dois adultos, e os valores registrados foram 18,6°C e 92% (Figura 8).

Durante cada uma das visitas, o sistema de iluminação era ligado, possibilitando ao turista e caminhar livremente pela cavidade. Imediatamente após a saída dos grupos, o sistema de iluminação era desligado.

A emissão de ruídos durante as quatro visitas realizadas na cavidade apresentou uma variação entre 32dB e 26,3dB. Durante a visita do primeiro grupo, foi registrado valor mais elevado para a emissão de ruídos (32dB); o menor valor foi registrado durante a visita do segundo grupo (26,3dB). Durante o percurso realizado pelo terceiro e o quarto grupo de turistas, foram observados valores máximos de 26,3db e 28,4db, respectivamente.

Não foi possível determinar padrões de intervalos de tempo para cada uma das visitas durante o desenvolvimento do estudo. Entretanto, cada grupo de turista se manteve dentro da cavidade por, no mínimo, 20 minutos e os intervalos entre as visitas foram de, no mínimo, 40 minutos.

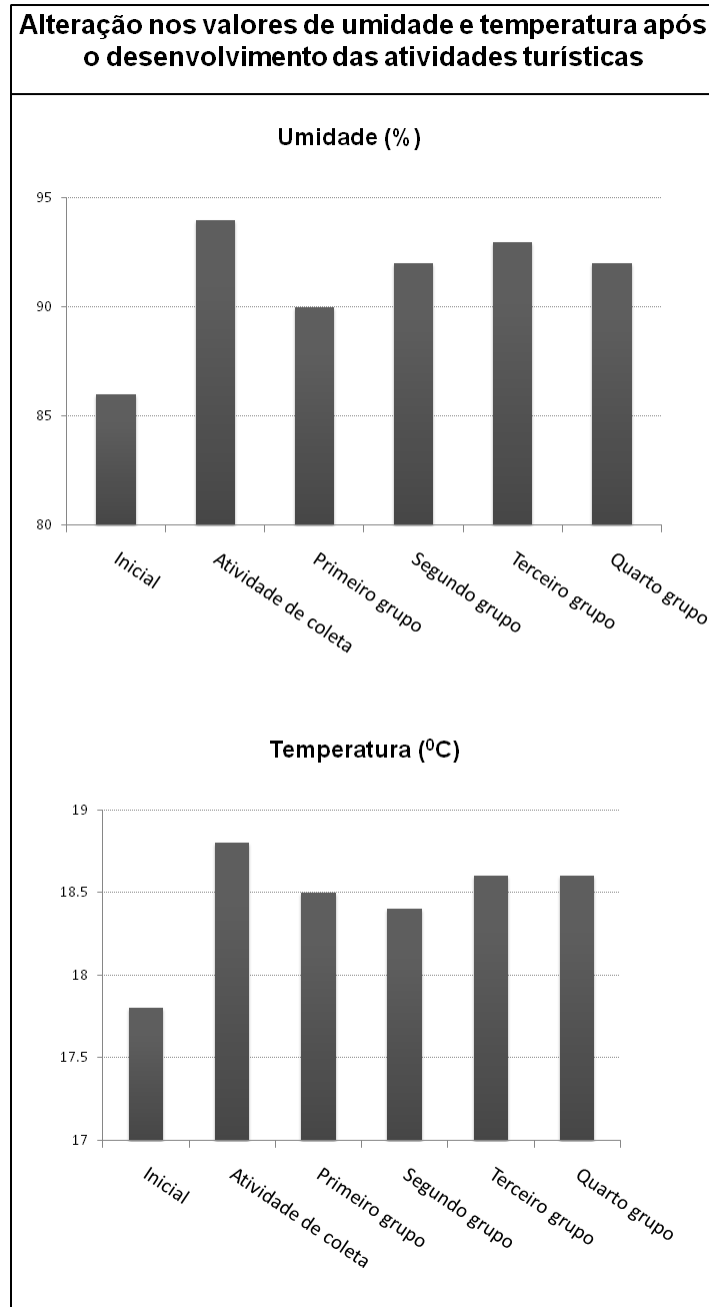


Figura 8 Efeitos das visitas turísticas nos valores de temperatura e umidade relativa no interior da cavidade turística Mina do Chico Rei

4 DISCUSSÃO

4.1 Variação na comunidade biológica

Diversas cavernas em todo o mundo recebem um grande número de visitantes. Como exemplo podem ser citadas as cavernas de Altamira e Marvels, na Espanha; Bayun, na China; Cheddar, Peak e Speedwell, na Inglaterra; Mammoth, nos Estados Unidos e Postojna, na Eslovênia, dentre outras (PULIDO-BOSH, 1997; GUNN et al., 2000; LINHUA et al., 2000). O mesmo ocorre no Brasil, estando em destaque aquelas cavidades voltadas para o turismo religioso, que podem receber milhares de pessoas anualmente (LINO, 2001). Grande parte desses sistemas apresenta modificações estruturais que visam auxiliar ou favorecer o deslocamento dos turistas. Tais alterações quase sempre acarretam em impactos. Dessa forma, recentemente, têm sido amplamente discutidas questões relativas a como conciliar as ações promovidas pelo turismo com a preservação dos ambientes hipógeos (FERREIRA, 2004; FERREIRA et al., 2009; LOBO, 2006a; LOBO, 2006b; SOUZA-SILVA; FERREIRA 2009).

Grande parte dos trabalhos produzidos no Brasil e no mundo a respeito do manejo turístico em cavernas dá importância, principalmente, às condições climáticas, tais como variações de temperatura, umidade relativa e CO₂ no ambiente hipógeo (VILLAR et al., 1984; PULIDO-BOSH et al., 1997; LINHUA et al., 2000; LOBO 2006b; FERNÁNDEZ-CORTÉS et al., 2006). No entanto, poucos trabalhos consideram efetivamente os efeitos do turismo sobre a biota subterrânea, sendo urgente a elaboração de estudos que visem esclarecer alguns aspectos do manejo de ecossistemas subterrâneos (EBERHARD 2001; FERREIRA 2004; FERREIRA et al., 2009; SOUZA-SILVA; FERREIRA, 2009).

Os invertebrados encontrados na Mina do Chico Rei compreendem os mesmos grupos observados por Souza-Silva (2008) em cavernas localizadas próximas a esta Mina turística. Dessa forma, é possível que os dados resultantes do presente estudo possam ser utilizados como um balizador em futuras ações de manejo em sistemas naturais. Assim, o primeiro ponto a ser observado é que existe um aspecto marcante ligado à disposição dos espécimes observados na Mina do Chico Rei. O piso da cavidade, em especial, foi quase todo aplainado pela compactação mecânica do solo ou, então, pelo acréscimo de brita ou cimento, resultando em uma redução na disponibilidade de micro-habitats em que a fauna pode se abrigar (Figura 1, 6 e 7).

O que se observa, em aspectos gerais, é que os espécimes estão distribuídos fora da zona de caminamento estabelecida pelo turismo, se concentrando em regiões que não sofrem diretamente com a compactação do solo por pisoteamento. Em cavidades naturais, a fauna geralmente se distribui por todo o sistema, já que os micro-habitats estão, em sua maioria, distribuídos por todo o piso e parede das cavernas (FERREIRA, 2004; FERREIRA et al., 2009). A distribuição de invertebrados por todo o sistema também ocorre em cavidades subterrâneas artificiais não turísticas (Bernardi, dados não publicados) e em locais na Mina do Chico Rei onde não há fluxo intenso de visitantes. Dessa forma, a maneira como o turismo é conduzido pode determinar os locais onde os espécimes podem se abrigar e estabelecer suas populações. Por outro lado, tais zonas de caminamento devem sempre ser determinadas em função da distribuição original das espécies no meio subterrâneo. Para isso, devem ser considerados os padrões de distribuição das espécies durante, no mínimo, um ano, abrangendo estações de seca e chuva. Além disso, é importante de sejam feitos acompanhamentos periódicos da fauna, já que atividades turísticas podem alterar a distribuição de invertebrados em sistemas subterrâneos (FERREIRA, 2004).

Além dos fatores ligados à disponibilidade de habitats, a presença de recursos alimentares também pode ser determinante na distribuição das populações. As comunidades presentes em cavidades subterrâneas artificiais, como em cavernas, também apresentam grande dependência de fontes de material orgânico proveniente do sistema epígeo. Em ambos os sistemas, a ausência de luz não permite o crescimento de organismos fotossintetizantes, tornando os mesmos, na maior parte dos casos, oligotróficos (FERREIRA, 2004). A Mina do Chico Rei passa, periodicamente, por vistorias que visam melhorar a condição do turismo e deixar o ambiente mais “agradável” ao público. Nestas ocasiões, a pouca matéria orgânica que penetra no sistema é removida, no intuito de melhorar a aparência da cavidade e evitar a proliferação de insetos que possam incomodar os turistas. Dessa forma, esta cavidade apresenta-se extremamente pobre em recursos orgânicos. Assim, é de se esperar que as populações mantenham um grande número de indivíduos concentrados nas proximidades da entrada, onde existem musgos e algas. Além disso, locais onde existem restos orgânicos deixados pelos turistas também concentram invertebrados.

A quantidade e a disponibilidade de recursos alimentares em sistemas subterrâneos podem influenciar diretamente o tamanho das populações no meio subterrâneo (FERREIRA; MARTINS, 2009). Dessa forma, quando se visa o estabelecimento do turismo em uma cavidade, é importante possibilitar a manutenção adequada do fluxo de energia. Este é, certamente, um fator decisivo na manutenção de populações de invertebrados, mesmo em sistemas que recebem milhares de visitantes (EBERHARD, 2001).

Na Caverna Lapa Nova de Maquiné (Cordisburgo, MG), foi observada situação semelhante à encontrada na Mina do Chico Rei (FERREIRA, 2004). Nesta caverna, a fauna também tende a se abrigar em zonas adjacentes às áreas de visitação, onde são encontrados recursos carreados por turistas. A maior parte

destes recursos compreende restos orgânicos, como objetos de madeira (e.g. fósforo, palitos de sorvete), restos de alimento e papel, e permanecem ali após a realização da atividade turística (FERREIRA, 2004).

Com o decorrer das atividades antrópicas na cavidade, era esperado que a fauna se deslocasse para áreas de pouca visitação, ao longo do dia. Entretanto, observou-se que, com a entrada dos turistas, as populações se mantiveram concentradas nos mesmos locais, não havendo alterações em relação à distribuição prévia à realização das visitas. Tal fato sugere que as comunidades tendem a se adequar ao turismo, não por meio de contínuas “expansões” e “retrações” cíclicas das populações. A solução aparentemente conseguida decorre da permanência das populações em áreas que não são diretamente afetadas pela ação de impactos diretos, como o pisoteamento.

Embora indiscutivelmente importante, o turismo, se realizado de forma inadequada, pode levar à redução populacional de certas espécies ou, mesmo, à extinção local de certos grupos. Dessa forma, é fundamental, durante o planejamento prévio da utilização turística de uma dada cavidade, que aspectos bióticos sejam considerados. Em certas cavernas, onde o manejo é adequado, é possível a manutenção das condições de fluxo de energia para o sistema e a manutenção da fauna (EBERHARD, 2001). Além disso, existem casos em que elementos da fauna acabam tornando-se um dos principais atrativos turísticos. Como exemplo, podem-se citar as cavernas da Nova Zelândia, onde o principal atrativo é uma pequena larva de diptera bioluminescente (Diptera: Keroplatidae: *Arachnocampa* sp.), mesmo em cavernas onde há um grande nível de carga turística (EBERHARD, 2001).

4.2 Variação no microclima

Villar e colaboradores (1984), em um estudo desenvolvido na caverna de Altamira, Espanha, mostraram que o fluxo de pessoas pode produzir, em média, uma energia equivalente a 170 W. Esta liberação de energia pode alterar pontualmente as condições climáticas dos sistemas subterrâneos (PULIDO-BOSH et al., 1997; LOBO 2006b). O mesmo foi observado na Mina do Chico Rei, onde, com a entrada de grupos de turistas e o funcionamento do sistema de iluminação na cavidade, elevaram-se os valores de temperatura e de umidade relativa. Segundo Pulido-Bosch e colaboradores (1997), o fluxo de turistas e a iluminação elétrica são responsáveis pelo aumento da temperatura na Caverna de Marvels, na qual o número de turistas mostrou-se positivamente correlacionado com a elevação da temperatura e a umidade. É importante ressaltar que, no estudo conduzido por Pulido-Bosch e colaboradores (1997), a coleta de dados foi realizada durante 23 horas, ao contrário deste estudo, no qual foi realizada apenas uma coleta após o intervalo de 30 minutos de funcionamento da iluminação. Por este motivo, podem ter sido observadas essas diferenças nas variações dos parâmetros abióticos.

Em sistemas muito isolados, tais como geodos gigantes, mesmo um pequeno número de turistas pode alterar o microclima, elevando a temperatura nestes ambientes (FERNÁNDEZ-CORTÉS et al., 2006). Além disso, os espaços confinados não permitem uma rápida dispersão dos impactos, os quais acabam resultando em interferências mais intensas e durante prazos maiores de tempo (FERNÁNDEZ-CORTÉS et al., 2006; LOBO, 2006b).

Trabalhos relacionados aos impactos sonoros em sistemas subterrâneos ainda são muito escassos (LOBO; ZAGO. 2009). Mas, em um estudo pioneiro no Brasil, realizado por Lobo e Zago (2009), na Caverna Morro Preto, no Petar, foi encontrados, por meio de monitoramento de variações ambientais, indícios

que apontam para a incidência de poucos impactos ambientais negativos derivados da emissão sonora. Mas, apesar de não existirem estudos mais específicos, alguns organismos podem ser influenciados tanto pela presença de turistas como pelos distúrbios causados por estes. Souza-Silva e Ferreira (2009) apontam que o turismo na Caverna de Ubajara deve ser conduzido em silêncio e com cautela, nos locais com agregações desses organismos, evitando, assim, afugentar os mesmos e pisotear em seu guano.

4.3 Considerações sobre a implantação de turismo em cavidades

Como anteriormente mencionado, atividades turísticas podem acarretar em alterações climáticas e nas condições de disponibilidade de micro-habitats e nas vias de acesso de recurso em cavidades subterrâneas artificiais. Dessa forma, algumas medidas devem ser tomadas previamente e durante o estabelecimento de atividades turísticas em cavidades subterrâneas, para que seja feito um manejo efetivo da fauna.

A manutenção de espaços onde existem micro-habitats passíveis de serem colonizados por invertebrados é algo que pode auxiliar na manutenção das espécies em sistemas subterrâneos. Segundo Ferreira (2004), a grande disponibilidade de micro-habitats pode determinar o número de espécies em sistemas subterrâneos. Cavernas extensas e que apresentam grande quantidade de micro-habitats tendem a ser mais ricas que cavernas de pequeno porte e com micro-habitats limitados. Como apontado por Ferreira e colaboradores (2009), o estabelecimento de rotas turísticas bem delimitadas é imprescindível durante a elaboração do plano de manejo de um sistema subterrâneo. Para tal, deve-se evitar que o turismo seja conduzido por locais onde haja elevada riqueza. Além disso, áreas com a presença de espécies raras, endêmicas e ameaçadas de extinção, tais como os troglóbios, devem ser protegidas da ação do turismo

(SESSSEGOLO et al., 2004b; FERREIRA et al., 2009; SOUZA-SILVA; FERREIRA, 2009). Como observado por Souza-Silva e Ferreira (2009), locais com agregações de morcegos devem ser evitados, para que estes organismos não sejam afugentados pelo trânsito de pessoas, já que eles são importantes provedores de recursos alimentares para os sistemas subterrâneos.

O estabelecimento da capacidade de carga de um sistema também é de suma importância em sistemas subterrâneos (LOBO et al., 2009). Uma vez que as atividades turísticas geram alterações na temperatura e na umidade relativa dos sistemas subterrâneos, grupos muito grandes de turistas podem vir a prejudicar o crescimento de espeleotemas e alterar o formato de rochas (SHOPOV, 2004).

O planejamento prévio da utilização de cavernas para o turismo é essencial, tendo em vista que estas atividades podem interferir em diversas estruturas e processos inerentes a estes sistemas (EBERHARD, 2001; FERNÁNDEZ-CORTÉS et al., 2006). Nesta perspectiva, estudos realizados em sistemas subterrâneos artificiais são essenciais, pois podem balizar o planejamento de ações que venham a minimizar os impactos do turismo em cavernas.

Agradecimentos

Aos colegas Marcus Paulo de Oliveira, Amanda M. Teixeira e Matheus Brajão, pelo auxílio durante o desenvolvimento das atividades de campo.

A Antônio Brescovit, Adriano Kury, Marcelo Ribeiro e Thaís G. Pellegrini, pelo auxílio na identificação de alguns invertebrados.

Este trabalho contou com o auxílio financeiro da Fundação de Amparo a Pesquisa do estado de Minas Gerais (Fapemig Processo N^o: APQ 4189 5 03-07).

O presente artigo foi aceito e será publicado na Revista Espeleo-Tema, issn: 0102-4701. Tal trabalho contou com a coautoria dos professores Dr.

Rodrigo Lopes Ferreira (Setor de Zoologia/Departamento de Biologia, Universidade Federal de Lavras) e Dr. Marconi Souza Silva (Núcleo de Pesquisa em Saúde e Biológicas do Centro Universitário de Lavras/Fundação Educacional de Lavras).

REFERÊNCIAS

CIGNA, A.A.; BURRI, E. Development, Management and Economy of Show Caves. **International Journal of Speleology**, n.29, v.1, p.01-27, 2000.

EBERHARD, S. Cave fauna monitoring and management at Ida Bay, Tasmania. **Records of the Western Australian Museum**, (Supplement) n.64, p.97-104, 2001.

FERNÁNDEZ-CORTÉS, A.; CALAFORRA, J.M.; ANCHEZ-MARTOS, F.S.; GISBERT J. Microclimate processes characterization of the giant Geode of Pulpí (Almería, Spain): technical criteria for Conservation. **International Journal of Climatology**, n.26, p.691–706, 2006.

FERREIRA, R.L. A medida da complexidade ecológica e suas aplicações na conservação e manejo de ecossistemas subterrâneos. 2004. 158p. Tese de doutorado em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais Belo Horizonte, 2004.

FERREIRA, R.L.; MARTINS R.P. Diversity and distribution of spiders associated with bat guano piles in Morrinho cave (Bahia State, Brazil). **Diversity and Distributions**, n.4, p.235-241, 1998.

FERREIRA, R.L.; MARTINS R.P. Mapping subterranean resources: The cave invertebrates distribution as indicator of food availability. **Revista Brasileira de Zoociências**, n.11, v.2, p.119-127, 2009.

FERREIRA, R.L.; BERNARDI, L.F.O.; SOUZA-SILVA, M. Caracterização dos ecossistemas das Grutas Aroê Jari, Kiogo Brado e Lago Azul (Chapada dos Guimarães, MT): Subsídios para o turismo nestas cavidades. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.9, n.1, p.41-58, 2009.

GUNN, J.; HARDWICK, P.; WOOD, P.J. The invertebrate community of the Peak-Speedwell cave system, Derbyshire, England — pressures and considerations for conservation management. **Aquatic Conservation: Marine And Freshwater Ecosystems**, n.10, p.353–369, 2000.

LINO, C. F. **Cavernas; O fascinante Brasil subterrâneo**. Editora Gaia LTDA. São Paulo. 2001. p.288.

LOBO, H.A.S. O lado escuro do paraíso: espeleoturismo na Serra da Bodoquena. 2006b. 164p. Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso, Aquidauana, 2006a.

LOBO, H.A.S. Caracterização dos Impactos Ambientais Negativos do Espeleoturismo e Suas Possibilidades de Manejo. **IV Seminário de Pesquisa em Turismo do Mercosul/III Seminário da ANPTUR**. Caxias do Sul, RS. Anais do SeminTUR. Caxias do Sul, RS : EDUCS, v.4, 2006b.

LOBO, H.A.S.; PERINOTTO, J.A.J.; BOGGIANI P.C. Capacidade de carga turística em cavernas: estado-da-arte e novas perspectivas. **Espeleo-Tema**, v.20, n.1/2, p.37-47, 2009.

LINHUA, S.; XIAONING, W.; FUYUAM L. The influences of cave tourist on CO₂ and temperature in Baiyun Cave. **International Journal of Speleology**, v.29b, n.1/4, p.77-87, 2000.

GILBERT, J.; DANIELPOL, D.L.; STANFORD, J.A. 1994. Groundwater Ecology. San Diego: Academic Press Limited, 1994. p. 571.

GILLIESON, D. **Caves; processos, development and management**. Cambridge, Blackwell Publisher Ltd, 1996. p.324.

PECK, S.B. A review of the cave fauna of Canada, and the composition and ecology of the invertebrate fauna of cave and mines in Ontário. **Canadian Journal of Zoology**, n. 66, p.1197-1213.1988.

PULIDO-BOSCH A.; MARTÍN-ROSALES W.; LÓPEZ-CHICANO M.; RODRÍGUEZ-NAVARRO C.M.; VALLEJOS A. Human impact in a tourist karstic cave (Aracena, Spain). **Environmental Geology** n.31, v.3/4, p.142-149. 1997.

SESSEGOLO, G.C.; OLIVEIRA, K.; PRIES, D.C.; ROCHA, L.F.S.; ZAKRZEWSKI, D.P. Síntese do plano de manejo do Parque Natural Municipal das Grutas de Botuverá, estado de Santa Catarina. **IV Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação. Anais, Volume I (Trabalhos técnicos)**, p.446-453, 2004a.

SESSEGOLO, G.C.; PRIES, D.C.; ROCHA, L.F.S.; PINTO-DA-ROCHA, R.; ZAKRZEWSKI, D.P. Manejo da Caverna Maroaga, Presidente Figueiredo/AM. **IV Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação. Anais, Volume I (Trabalhos técnicos)**, p.399-405, 2004b

SHARRATT, N.J.; PICKER M.; SAMWAYS, M. The invertebrate fauna of the sandstone of the caves of the Cape Peninsula (South Africa): patterns of endemism and conservation priorities. **Biodiversity and Conservation**, n.9, p.107-143, 2000.

SHOPOV, Y.Y. Sediments: biogenic. In: GUNN, J (Ed.) **Encyclopedia of Caves and Karst Science**. New York/London: Taylor and Francis Group, 2004. p.1356-1359.

SOUZA-SILVA, M. **Ecologia e conservação das comunidades de invertebrados cavernícolas na Mata Atlântica Brasileira**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais/Pós-Graduação em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre. 226pp.

SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R.L. Caracterização ecológica de algumas cavernas do Parque Nacional de Ubajara (Ceará) com considerações sobre o turismo nestas cavidades. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, vol.9, n.1, p.59-71, 2009.

TWIDALE, C.R.; ROMANÍ J.R.V. **Landforms and Geology of Granite terrains**. The Netherlands, Amsterdam: Balkema, 2005, 352p.

VILLAR, E.; BONET, A.; DIAZ-CANEJA, B.; FERNANDEZ, P.L.; GUTIERREZ, I.; QUINDOS, L.S.; SOLANA, J.R.; SOTO, J. Ambient temperature variations in the hall of paintings of Altamira cave due to the presence of visitors. **Cave Science**, v.11, n.2, p.99-104, 1984.